



# MANUAL

---

## PETUNJUK TEKNIS PENGUJIAN TANAH



KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM DAN PERUMAHAN RAKYAT  
DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM



**DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA**

SALINAN

## **Ketentuan Praktis Pengujian Tanah Jembatan**

### **1. Ruang lingkup**

Pedoman ini mengatur pelaksanaan pekerjaan pondasi jembatan yang mencakup tahapan pengujian tanah, penyelidikan geoteknik, pemilihan jenis pondasi jembatan, pelaksanaan pondasi jembatan dan pengujian kekuatan pondasi. Pekerjaan yang dimaksud meliputi pekerjaan pengawasan dan kecocokan metode yang dipakai.

### **2. Acuan normatif**

<b>SNI 03-1738-2011</b>	<b>: Cara Uji CBR Lapangan</b>
<b>SNI 1744-2012</b>	<b>: Metode Uji CBR Laboratorium</b>
<b>SNI 1964-2008</b>	<b>: Cara Uji Berat Isi Tanah</b>
<b>SNI 1966-2008</b>	<b>: Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indek Plastisitas Tanah</b>
<b>SNI 2436:2008</b>	<b>: Tata Cara Pencatatan dan Identifikasi Hasil Pengeboran Inti</b>
<b>SNI 2451-2008</b>	<b>: Spesifikasi Pilar dan Kepala Jembatan Beton Sederhana Bentang 5 m Sampai dengan 25 m Dengan Pondasi Tiang Pancang</b>
<b>SNI 2827-2008</b>	<b>: Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan Alat Sondir</b>
<b>SNI 03-3423-2008</b>	<b>: Cara Uji Analisis Ukuran Butiran Tanah</b>
<b>SNI 03-4804-1998</b>	<b>: Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga Udara dalam Agregat</b>
<b>SNI 03-4434-1997</b>	<b>: Spesifikasi Tiang Pancang Beton Pracetak Untuk Pondasi Jembatan, Ukuran (30 X 30, 35 X 35, 40 X 40) Cm<sup>2</sup> Panjang 10-20 Meter Baja Tulangan BJ 24 Dan BJ 40</b>
<b>SNI 03-6747-2002</b>	<b>: Tata Cara Perencanaan Teknis Pondasi Tiang Untuk Jembatan Departemen Pekerjaan Umum (DPU)</b>
<b>SNI 03-6795-2002</b>	<b>: Metode Pengujian Untuk Menentukan Jenis Tanah Ekspansif</b>
<b>SNI 1742:2008</b>	<b>: Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah</b>
<b>SNI 1976:2008</b>	<b>: Cara Koreksi Kepadatan Tanah yang Mengandung Butiran Kasar</b>
<b>SNI 2813:2008</b>	<b>: Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase</b>
<b>SNI 3454:2008</b>	<b>: Tata Cara Pemasangan Instrumen Magnetos dan Pemantauan Pergerakan Vertikal Tanah</b>
<b>SNI 4153-2008</b>	<b>: Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT</b>
<b>SNI 6424:2008</b>	<b>: Cara Uji Potensi Pengembangan atau Penurunan Satu Dimensi Tanah Kohesif</b>
<b>SNI 1725:2016</b>	<b>: Standar Pembebanan Untuk Jembatan</b>
<b>RSNI T-03-2005</b>	<b>: Perencanaan Struktur Baja Untuk Jembatan</b>
<b>RSNI T-12-2004</b>	<b>: Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan</b>
<b>Pd T-03.2-2005-A</b>	<b>: Penyelidikan Geoteknik Untuk Fondasi Bangunan Air</b>
<b>Pt T-43-2000-A</b>	<b>: Tata Cara Pelaksanaan Pekerjaan Tanah (Bagian 1 Keselamatan Dalam Pekerjaan Tanah)</b>

ASTM D1143	: <i>Standard Method Of Testing Piles Under Static Axial Compressive Loads</i>
ASTM D1586	: <i>Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) And Split-Barrel Sampling of Soils</i>
ASTM D-1587	: <i>Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils for Geotechnical Purposes</i>
ASTM D-1883	: <i>Standard Test Method for California Bearing Ratio (CBR) of Laboratory-Compacted Soils</i>
ASTM D2435	: <i>Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soil Using Incremental Loading</i>
ASTM D2216	: <i>Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass</i>
ASTM 2487	: <i>Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purpose (Unified Soil Classification System)</i>
ASTM 2488	: <i>Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)</i>
ASTM D2850	: <i>Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils</i>
ASTM D2974	: <i>Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils</i>
ASTM D3441	: <i>Standard Test Method for Mechanical Cone Penetration Tests of Soil</i>
ASTM D3689	: <i>Method for Testing Individual Piles Under Static Axial Tensile Load</i>
ASTM D3740	: <i>Practice for Minimum Requirement for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction</i>
ASTM D3966	: <i>Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load</i>
ASTM D4186	: <i>Standard Test Method for One-Dimensional-Consolidation Properties of Saturated Cohesive Soils Using Controlled-Strain Loading</i>
ASTM D4220	: <i>Standard Practices for Preserving and Transporting Soil Sample</i>
ASTM D427	: <i>Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method</i>
ASTM D4318	: <i>Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils</i>
ASTM D4767	: <i>Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils</i>
ASTM D4943	: <i>Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Wax Method</i>
ASTM D5778	: <i>Standard Test Method of Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils</i>
ASTM D6026	: <i>Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data</i>
ASTM D-698	: <i>Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soils Using Standard Effort (12400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))</i>
ASTM 7765	: <i>Standard Practice for Use of Foundry Sand in Structural Fill and Embankments</i>

<b>ASTM D854</b>	<b>: <i>Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer</i></b>
<b>AASHTO LRFD</b>	<b>: <i>Bridge Design Specification Vol.6</i></b>
<b>BS EN 1997-1:2004</b>	<b>: <i>Eurocode 7: Geotechnical Design</i></b>
<b>BS 8004:1986</b>	<b>: <i>Code of Practice For Foundation</i></b>
<b>FHWA HI-98-032</b>	<b>: <i>Load and Resistance Factor Design (LRFD) for Highway Bridge Substructures</i></b>

### 3. Istilah dan Definisi

#### 3.1 *Abutment*

Pilar jembatan yang berada di ujung jembatan yang berada di atas *oprit*.

#### 3.2 *Auger*

Alat untuk melakukan pengeboran.

#### 3.3 *Bearing*

Sistem keseluruhan dari suatu bagian jembatan yang digunakan untuk mentransfer tegangan dari struktur bagian atas ke struktur bagian bawah yang dapat memberikan pergerakan pada bagian atas struktur jembatan.

#### 3.4 *Beban Uplift*

Beban yang berkerja pada arah vertikal dan mengarah ke atas.

#### 3.5 *Beton Prategang*

Beton yang telah mengalami tegangan internal dengan besar dan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi sampai batas tertentu tegangan yang terjadi akibat beban eksternal.

#### 3.6 *Beton Siklop*

Beton dengan perbandingan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil.

#### 3.7 *Core Box*

Kotak kayu tempat diletakan *core sample* untuk memudahkan pendeskripsian dan dokumentasi *core sample* yang dibentuk sesuai dengan diameter *core sample* dan panjangnya menyesuaikan (biasanya 1 m).

#### 3.8 *Coring*

Pengeboran yang dilakukan untuk mengambil contoh sampel pada lapisan litologi di bawah permukaan sebagai data geologi.

#### 3.9 *Detail Engineering Design (DED)*

Detail gambar yang digunakan dalam pelaksanaan konstruksi.

#### 3.10 *DPT (Dinding Penahan Tanah)*

Komponen struktur bangunan penting utama untuk jalan raya dan bangunan lingkungan lainnya yang berhubungan tanah berkontur atau tanah yang memiliki elevasi yang

berbeda.

### **3.11 Energi Disipasi**

Energi yang hilang dalam suatu sistem. Hilang dalam arti berubah menjadi energi lain yang tidak menjadi tujuan suatu sistem.

### **3.12 Friction Pile**

Penyaluran beban dimana sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari gesekan antara tanah dengan sisi-sisi tiang pancang, atau dengan kata lain kemampuan tiang pancang dalam menahan beban yang mengandalkan gaya gesekan antara tiang dengan tanah disekelilingnya.

### **3.13 Girder**

Sebuah balok diantara dua penyangga dapat berupa *pier* ataupun *abutment* pada suatu jembatan atau *fly over*.

### **3.14 Konsolidasi**

Suatu proses pemampatan tanah, dan berkurangnya volume pori dalam tanah yang menghasilkan bertambahnya daya dukung tanah.

### **3.15 Konus**

Alat pada uji sondir untuk mengetahui nilai tahanan ujung ( $q_c$ ).

### **3.16 Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression*)**

Tekanan aksial benda uji pada saat mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%.

### **3.17 Oprit**

Timbunan tanah yang berada di ujung jembatan yang berfungsi untuk menyamakan elevasi jalan dengan elevasi jembatan.

### **3.18 Palu/pemberat**

Besi atau baja masif berbentuk silinder dan di tengahnya berlubang lebih besar sedikit daripada diameter pipa bor.

### **3.19 Permeabilitas**

Suatu sifat atau kemampuan dari suatu membrane untuk dapat dilewati oleh suatu zat.

### **3.20 Pier**

Tiang jembatan yang memikul beban keseluruhan dari jembatan tersebut.

### **3.21 Pile Cap**

Untuk menerima beban dari kolom yang kemudian akan terus disebarkan ke tiang pancang dimana masing-masing pile menerima  $1/N$  dari beban oleh kolom dan harus  $\leq$  daya dukung yang diijinkan.

### **3.22 Pondasi Cerucuk**

Salah satu jenis pondasi yang biasanya diaplikasikan di daerah dengan kondisi tanah

yang kurang stabil dimana umumnya dengan jenis tanah lumpur ataupun tanah gambut dengan elevasi muka air yang cukup tinggi.

### **3.23 Sistem Koordinat**

Digunakan untuk menunjukkan suatu titik di bumi berdasarkan garis lintang dan garis bujur.

### **3.24 Sondir (*Cone Penetration Test*)**

Uji untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan luas.

### **3.25 Split Barrel Sampler**

Alat berupa tabung yang dibelah dua dan kedua ujungnya dipegang dengan mur dan dipasang pada ujung pipa bor pada waktu pelaksanaan pengujian SPT.

### **3.26 Standard Penetration Test (SPT)**

*Dynamic penetration test* yang dilakukan di lapangan untuk mendapatkan data geoteknik berupa sifat-sifat tanah.

### **3.27 Static Loading test**

Salah satu metode pengujian untuk mengetahui daya dukung pondasi dengan memasang beban statik di kepala tiang.

### **3.28 Tanah Kohesif**

Tanah yang mempunyai sifat lekatan antar butir-butirnya dan mengandung lempung yang cukup banyak.

### **3.29 Tanah Lempung**

Partikel mineral berkerangka dasar silikat yang berdiameter kurang dari 4 mikrometer dan mengandung leburan silica dan/atau aluminium yang halus.

### **3.30 Tumpuan Ujung (*End Bearing Pile*)**

Penyaluran beban dimana sebagian besar daya dukungnya adalah akibat dari perlawanan tanah keras pada ujung tiang.

### **3.31 Uji Triaxial**

Salah satu uji laboratorium yang paling umum digunakan untuk mengetahui properti tanah.

### **3.32 Undisturb Sample (*UDS*)**

Pengambilan sampel tanah dengan menggunakan tabung agar tanah yang didapat merupakan kondisi tanah tidak terganggu.

## 4. Jembatan dan Pondasi Jembatan

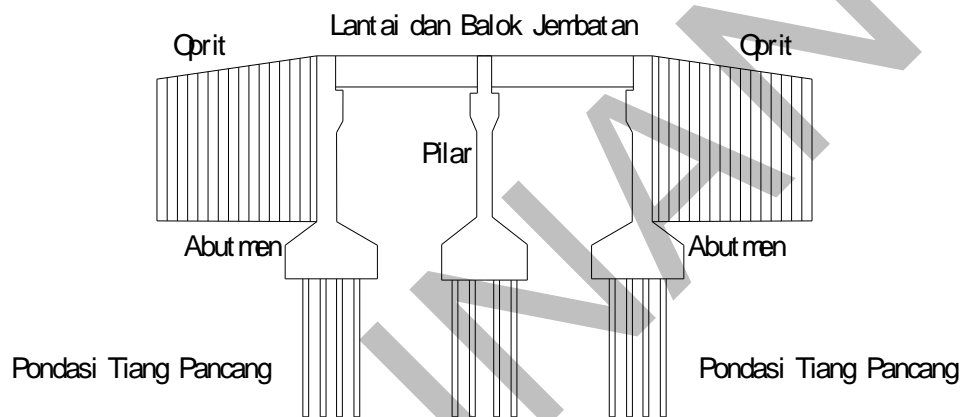
### 4.1 Jembatan

Jembatan adalah suatu bangunan yang menghubungkan suatu jalan yang menyilang dengan sungai/saluran air, lembah atau dengan jalan lain.

#### 4.1.1 Bagian-Bagian Jembatan

Bangunan jembatan pada umumnya terdiri dari 6 bagian pokok, yaitu:

1. Bangunan atas: gelagar, pelat.
2. Bangunan bawah: kepala jembatan (abutmen, pilar), tembok sayap, dan pondasi jembatan.
3. Bangunan pelengkap: oprit, pengaman jembatan, bangunan pengaman jalan/sungai, elemen drainase dan lain-lain.



Gambar 4.1 Gambar Bagian - Bagian Jembatan



### 1. Bangunan Atas

Bangunan atas terdiri dari atas bangunan yang berfungsi untuk lintasan penghubung dan merupakan bagian jembatan yang terletak di sebelah atas landasan.

### 2. Bangunan Bawah

Bangunan bawah merupakan sistem yang mendukung bangunan atas antara lain terdiri dari kepala jembatan (abutmen atau pilar), tembok sayap (wing wall) dan pondasi jembatan.

### 3. Bangunan Pelengkap

Bangunan pelengkap jalan di antaranya terdiri dari jalan pendekat (oprit), bangunan pengamanan jalan/sungai, elemen drainase dan lain-lain.

#### 4.1.2 Tipe-Tipe Jembatan

Jembatan memiliki beberapa tipe berdasarkan bentuk struktur di atasnya, lama waktu penggunaan, fungsi, panjang bentang, dan bahan konstruksi. Berikut tabel dan gambar tipe-tipe jembatan:

**Tabel 4.1 Tipe-tipe jembatan**

Bentuk struktur atas	1. Jembatan lengkung batu
	2. Jembatan rangka
	3. Jembatan beton
	4. Jembatan gantung
	5. Jembatan cable stayed
Lama waktu penggunaan	1. Jembatan sementara/ darurat
	2. Jembatan semi permanen
	3. Jembatan permanen
Jembatan menurut fungsinya	1. Jembatan jalan raya
	2. Jembatan jalan rel
	3. Jembatan talang air atau waduk
	4. Jembatan untuk penyebrangan pipa
Panjang bentang	1. Bentang pendek ( $< 20$ m)
	2. Bentang sedang ( $20$ m – $100$ m)
	3. Bentang panjang ( $> 100$ m)
Bahan Konstruksi	1. Jembatan dari beton
	2. Jembatan dari baja
	3. Jembatan dari kayu
	4. Jembatan bahan komposit

### 4.1.3 Bentang Jembatan

Berdasarkan panjang bentangnya, bentang jembatan dibagi menjadi 3 bagian, yaitu jembatan dengan bentang pendek (6-20 m), bentang menengah (20 - 100 m), dan bentang panjang (lebih dari 100 m).

#### 4.1.3.1 Jembatan dengan Bentang Pendek

Jembatan dengan beton bertulang pada umumnya hanya digunakan untuk bentang jembatan yang pendek yang memiliki bentang panjang 6 - 20 m. Jenis-jenis yang biasanya digunakan di antaranya *Slab Bridge*, *T-Girder*, dan *I-Girder*.

#### 4.1.3.2 Jembatan dengan Bentang Menengah

Penggunaan rangka baja untuk jembatan sampai saat ini masih mendominasi bangunan jembatan bentang menengah. Jenis baja yang biasanya dipakai yaitu *Truss bridge*. Selain itu dapat juga menggunakan beton prategang dengan jenis *PCI-Girder* dan *Prestressed Box Girder* atau bisa menggunakan bahan komposit dengan jenis *Composite bridge*.

Jenis jembatan balok pelat girder yang digunakan untuk jembatan jalan kereta api. Struktur gelagar induk jembatan merupakan balok profil buatan dari pelat baja dengan tebal tertentu disusun sedemikian rupa sehingga merupakan balok yang proporsional dan efektif untuk menahan beban yang bekerja.

#### 4.1.3.3 Jembatan dengan Bentang Panjang

Bangunan bentang panjang umumnya menggunakan sistem penggantung untuk menahan lantai jembatan. Yang termasuk dalam kategori jembatan bentang panjang antara lain jembatan pelengkung baja maupun beton, jembatan kabel suspensi dan jembatan *cable stayed*. Jembatan pelengkung umumnya mempunyai bentang utama antara 90 – 200 meter. Pelengkung merupakan tempat menggantung/menumpunya lantai jembatan dapat berbentuk baja tubular ataupun beton bertulang. Penggantung lantai biasanya terbuat dari baja sedangkan penumpu dapat dibuat dari beton bertulang maupun baja.

Jembatan kabel stayed mempunyai bentang antara 150 – 500 meter. Sistem lantai jembatan didukung oleh kabel yang dihubungkan langsung dengan tower. Jembatan Suramadu dan jembatan Pasupati merupakan menggunakan sistem cable stayed.

Jembatan dengan bentang yang sangat panjang, lebih besar dari 400 meter, menggunakan sistem kabel suspensi untuk memikul beban lantai. Sistem jembatan ini mempunyai kabel penggantung pelat dan kabel utama yang berfungsi menyalurkan beban ke pilar dan kemudian diteruskan ke pondasi.

### 4.2 Pondasi Jembatan

Pondasi merupakan elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Fungsi pondasi antara lain:

1. Untuk memikul beban di atasnya.
2. Untuk menahan gaya angkat (*up-lift*) pada pondasi atau dok di bawah muka air.
3. Untuk mengurangi penurunan (sistem tiang rakit dan cerucuk).
4. Untuk memberikan tambahan faktor keamanan, khususnya pada kaki jembatan yang dapat mengalami erosi / *scouring*.
5. untuk menahan longsoran atau sebagai proteksi galian (barisan tiang / *soldier piles*).

Jenis pondasi jembatan ditentukan oleh kondisi tanah dan desain struktur atas jembatan. Secara umum adalah seperti berikut:

1. Bila tanah keras dangkal ( $D < 4\text{m}$ ) digunakan pondasi telapak (*spread footing*).
2. Bila tanah keras cukup dalam ( $D = 4\text{--}9\text{m}$ ) digunakan pondasi sumuran (*Caisson*).
3. Bila tanah keras sangat dalam ( $D > 9\text{m}$ ) digunakan pondasi dalam atau pondasi tiang (pancang dan bor).

Konsep dasar yang harus diperhatikan dalam melakukan perancangan pondasi jembatan sebagai berikut:

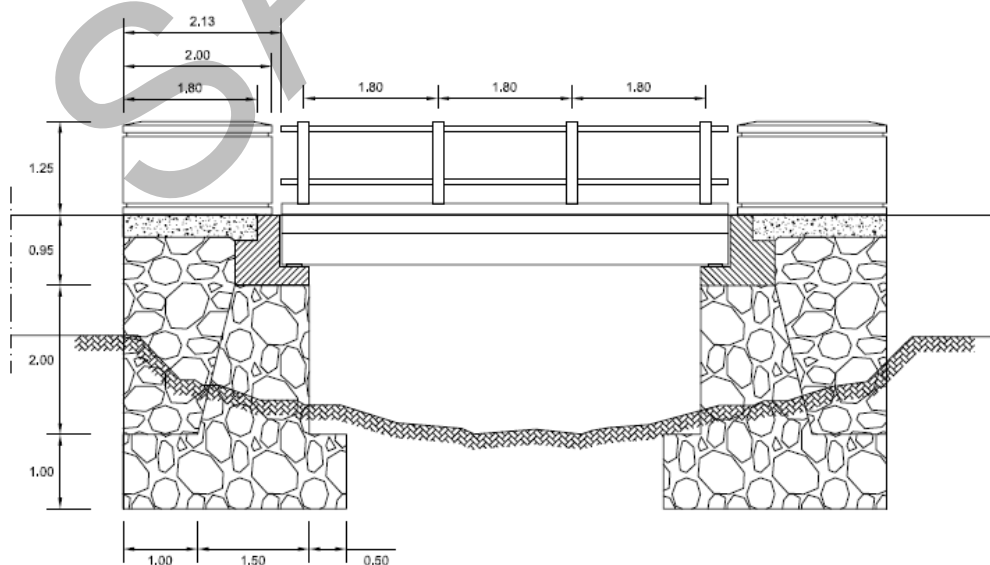
1. Menentukan profil dan karakteristik tanah
2. Penentuan stratifikasi, penggambaran profil kadar air, dan batas-batas atterberg, kuat geser tak teralir, dan menggambarkan hasil uji lapangan.
3. Penentuan kedalaman pondasi
4. Tentukan lapisan pendukung yang cukup baik dan dapat memikul beban berdasarkan profil tanah di lapangan. Apabila tanah keras tidak didapatkan hingga kedalaman tertentu, tiang dapat direncanakan sebagai tiang gesekan.
5. Penentuan jenis dan dimensi pondasi
6. Tentukan jenis dan dimensi pondasi tiang berdasarkan jenis tanah, daya dukung tanah, kapasitas penampang struktur, ketersediaan peralatan, pengalaman konstruksi, pertimbangan lingkungan dan ekonomi. Berikut ini adalah penjelasan mengenai kriteria pemilihan pondasi berdasarkan jenis tanahnya:
  - Pondasi pada tanah pasir; permasalahan yang umum terjadi pada pondasi di atas tanah pasir adalah penurunan yang tidak seragam. Untuk itu perlu dilakukan berbagai tes atau pengujian tanah seperti uji *Soil Penetration Test* (SPT), uji kerucut statis, dan uji beban pelat, pondasi dalam seperti pancang umumnya dipilih pada jenis tanah ini, atau untuk lokasi yang tidak memungkinkan bisa menggunakan *spoon pile* atau bor pile.
  - Pondasi pada batuan; sebenarnya pondasi pada batu tak perlu dikhawatirkan karena sifat batu yang keras dipastikan mampu menahan beban bangunan dengan baik. Namun pada batuan berkapur dan memiliki lubang-lubang, stabilitas bangunan harus diperhitungkan karena akan membahayakan bangunan.
  - Pondasi pada tanah timbunan; tanah timbunan merupakan tanah yang diangkut dari daerah

lain ke lokasi pembangunan. Tanah timbunan yang akan dijadikan dasar pondasi harus diperiksa terlebih dahulu kapasitas dukungnya. Dan jika akan digunakan tanah timbunan harus dipadatkan terlebih dahulu. Untuk jenis ini umumnya menggunakan *bored pile*, pancang, cerucuk, *spoon pile* maupun *strauss pile*.

- Pondasi pada tanah organik; tanah organik sangat tidak disarankan untuk dijadikan tempat perletakan pondasi, karena jenis tanah ini akan mengakibatkan penurunan terlalu besar dan tanah jenis ini sangat sulit dipadatkan.
- Pondasi pada tanah lempung; pondasi tiang pancang, *bored pile*, *spoon pile*, *jacking pile* atau *strauss pile* sangat disarankan pada tanah lempung sehingga tanah tidak mudah terpengaruhi dengan iklim dan kondisi lingkungan sekitar. Perencanaan pondasi pada lapisan tanah ini agak sulit dilakukan karena tanah menyatu dengan air hingga tanah dengan mudah menjadi jenuh air.
- Pondasi pada tanah lanau; tanah lanau merupakan jenis tanah yang terdapat diperalihan antara pasir dan lempung. Dalam kondisi alam, tanah jenis lanau biasanya ditemukan dalam kondisi kurang padat. Sehingga jika dijadikan sebagai tempat perletakan pondasi, maka akan terjadi penurunan yang besar. Pondasi dalam tiang pancang, sumuran, bore pile, *strauss pile* atau *spoon pile* disarankan untuk kondisi tanah seperti ini.

#### 4.2.1 Pondasi Telapak

Pondasi telapak digunakan jika lapisan tanah keras terdapat di kedalaman kurang dari 4 meter. Dalam perencanaan jembatan pada sungai yang masih aktif, pondasi telapak tidak dianjurkan mengingat untuk menjaga kemungkinan terjadinya pergeseran akibat gerusan (*Scouring*). Pondasi jenis ini cocok untuk jenis tanah sedang hingga keras. Bahannya dari pasangan batu kali atau beton bertulang.



Gambar 4.2 Pondasi Telapak Untuk Jembatan

#### 4.2.2 Pondasi Sumuran

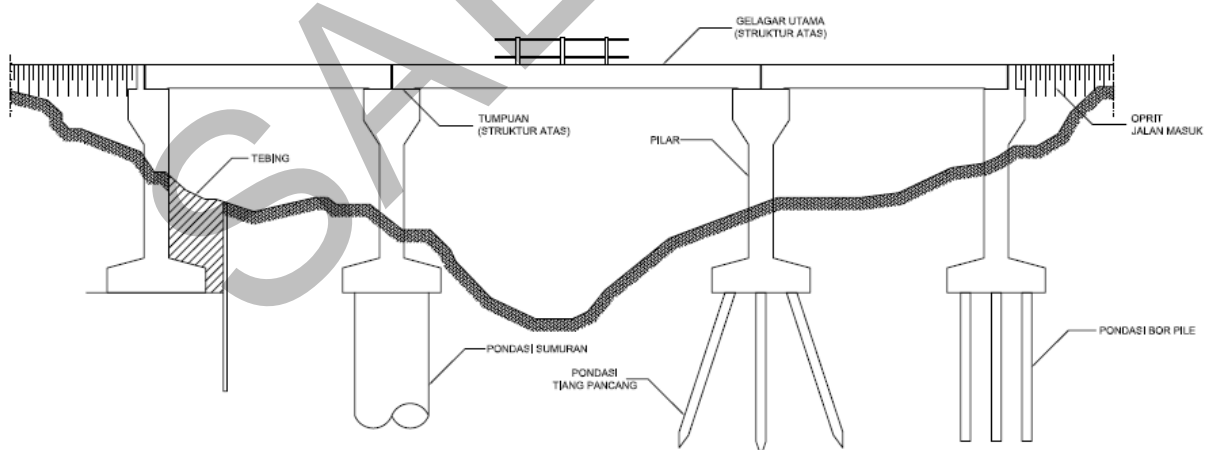
Pondasi sumuran digunakan untuk kedalaman tanah keras antara 4 sampai 9 meter. Pondasi sumuran dibuat dengan cara menggali tanah berbentuk lingkaran berdiameter  $> 80$  cm. Penggalian dapat dilakukan secara manual dan tergolong mudah dilaksanakan. Kemudian lubang galian diisi dengan beton siklop (1 pc : 2 ps : 3 kr) atau beton bertulang. Jika konstruksinya untuk muatan ringan dapat digabungkan dengan konstruksi beton bertulang dan konstruksi beton 40% batu kali. Pondasi jenis ini cocok untuk jenis tanah berpasir dimana tanah keras agak dalam.

#### 4.2.3 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang merupakan bagian dari pondasi dalam. Pondasi ini digunakan apabila kondisi tanah stabil terletak pada kedalaman lebih dari 9 meter. Daya dukungnya dari gesekan antara selimut tiang dengan tanah dan dari tahanan ujungnya. Kedua komponen itu dapat bekerja bersamaan maupun terpisah, namun demikian salah satu dari komponen tersebut dapat lebih dominan.

#### 4.2.4 Pondasi Tiang Bor

Pondasi tiang bor atau *bored pile* merupakan jenis pondasi tiang yang dicor di tempat, yang sebelumnya dilakukan pengeboran dan penggalian. Pondasi ini digunakan apabila kondisi tanah stabil terletak pada kedalaman lebih dari 9 meter. Pondasi tiang bor sangat cocok digunakan pada tempat-tempat yang padat oleh bangunan-bangunan, karena tidak terlalu bising dan getarannya tidak menimbulkan dampak negatif terhadap bangunan di sekelilingnya.



Gambar 4.3 Jenis pondasi jembatan

## 5. Penyelidikan Lapangan

Tujuan mendasar dari sebuah penyelidikan lapangan adalah mendapatkan data untuk keperluan desain dan pelaksanaan konstruksi dari sebuah proyek. Penyelidikan lapangan dilakukan untuk memberikan gambaran mengenai kondisi pelapisan dan parameter tanah. Oleh karena itu, penentuan jenis dan penempatan titik-titik pengujian lapangan menjadi sangat penting. Penyelidikan lapangan yang umum dilakukan adalah berupa sondir mekanik dan pemboran teknik untuk pengambilan coring, *Undisturb Sample* (UDS) dan pelaksanaan *Standard Penetration Test* (SPT). Pengamatan muka air tanah pada setiap lubang bor teknik dilakukan untuk mengetahui kedalaman muka air tanah.

Laporan penyelidikan geoteknik harus sesuai standar. Data yang ada harus cukup lengkap dan dapat digunakan untuk keperluan desain. Profil dan analisis parameter tanah yang disampaikan dalam laporan penyelidikan geoteknik paling tidak harus meliputi :

1. Profil tanah untuk perencanaan (*design profile*) harus mewakili kondisi lapisan tanah , khususnya parameter-parameter tanah untuk perencanaan pondasi
2. Muka air tanah
3. Daya dukung tanah untuk jenis pondasi yang disarankan
4. Parameter tanah untuk analisis penurunan bangunan jangka pendek dan jangka panjang
5. Parameter tanah untuk analisis dinding penahan tanah untuk kondisi baik undrained maupun drained.

Selain itu, klasifikasi jenis tanah dan profil lapisan- lapisan tanah minimal sampai kedalaman 30 m yang dimulai dari permukaan tanah asli.

### 5.1 Tahapan Penyelidikan Lapangan

Penyelidikan lapangan harus direncanakan dan dilaksanakan dalam sebuah tahapan, yaitu:

1. Pengumpulan Data Terdahulu, Studi Literatur dan Peninjauan Lapangan
2. Penyelidikan Utama
3. Penyelidikan Tambahan

Setiap tahapan akan didesain dengan menggunakan informasi yang didapat dari tahapan sebelumnya.

#### 5.1.1 Pengumpulan Data Terdahulu, Studi Literatur, dan Peninjauan Lapangan

Informasi awal yang dapat dikumpulkan adalah kondisi geologi, kegempaan regional, peraturan setempat, dan besarnya beban dari struktur. Informasi ini akan membantu perencana geoteknik untuk memutuskan tahap penyelidikan geoteknik selanjutnya.

#### 5.1.2 Penyelidikan Utama

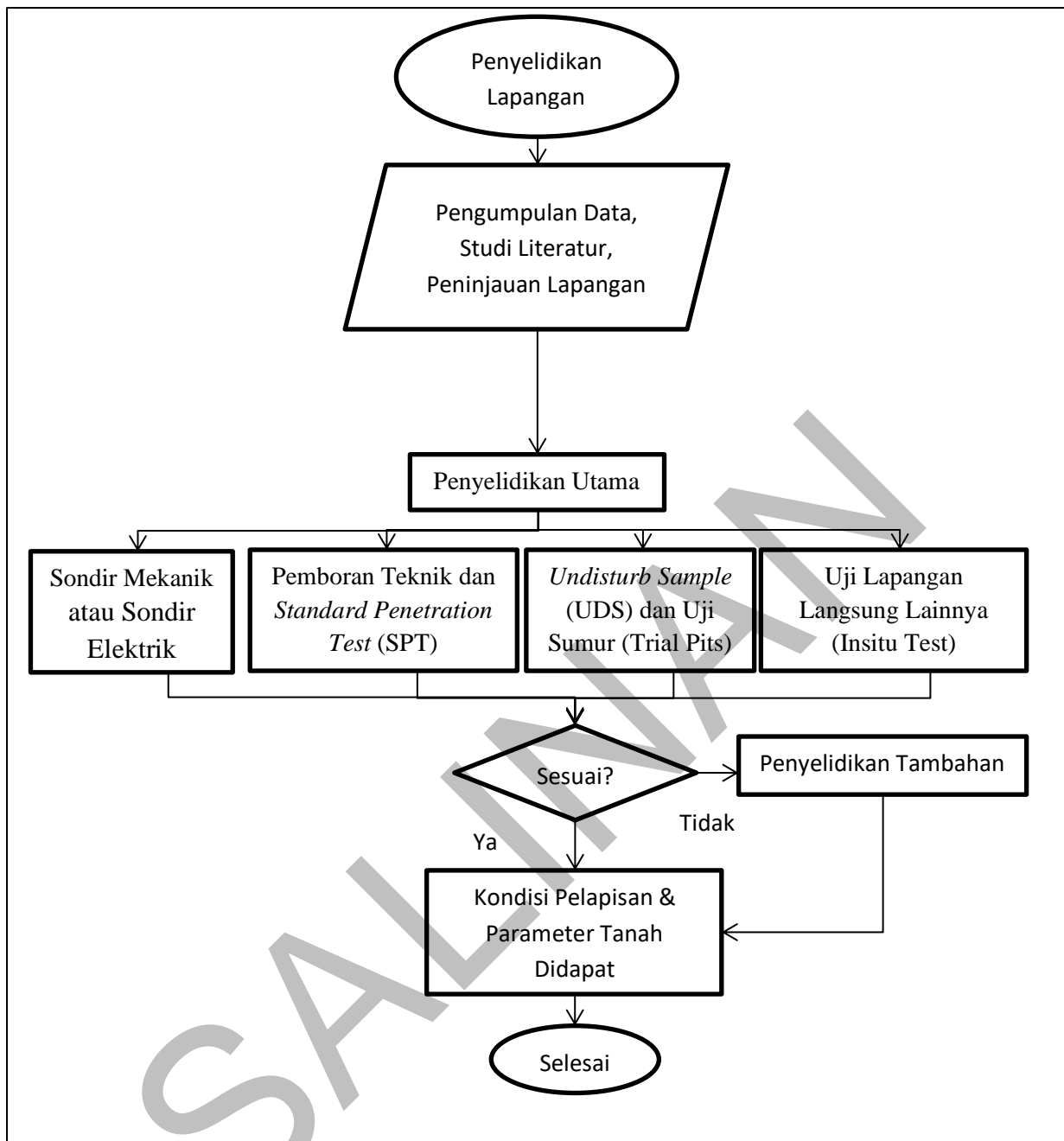
Tujuan dari penyelidikan utama ini adalah untuk mendapatkan informasi yang akurat untuk menghasilkan suatu desain serta metode pelaksanaan yang ekonomis dan aman. Metode-metode yang umumnya digunakan dalam penyelidikan lapangan di Indonesia adalah:

- Pendugaan (*Soundings*)
- Uji Sumur (*Trial pit*)
- Pemboran (Boreholes)
- Uji lapangan langsung (In situ tests).

Lokasi dari titik-titik penyelidikan, seperti lubang bor, sondir, uji sumur, maupun uji-uji langsung di lapangan, harus ditentukan sehingga gambaran geologi umum dari lokasi secara keseluruhan dapat diperoleh dengan detil dan sifat- sifat teknik dari tanah di bawah permukaan.

### **5.1.3 Penyelidikan Tambahan**

Ketika penyelidikan keseluruhan mengungkapkan bahwa kondisi tanah yang ada tidak sesuai dengan apa yang diharapkan, maka menjadi perlu atau diharapkan untuk dapat dilaksanakan suatu penyelidikan tambahan. Penyelidikan lapangan tambahan mungkin diperlukan untuk mendapatkan informasi tambahan dan atau untuk mengkonfirmasi atau menolak data yang meragukan. Kadangkala kebutuhan akan penyelidikan tambahan ini dapat diabaikan jika penyelidikan utama dilakukan dengan pengawasan yang tepat. Masalah-masalah dapat diidentifikasi selama pelaksanaan penyelidikan utama ini, dan perencanaan dari penyelidikan dapat pula dimodifikasi atau dikembangkan untuk mendapatkan informasi tambahan yang dibutuhkan.



Gambar 5.1 Diagram Alir Penyelidikan Lapangan

## 5.2 Sondir (Cone Penetrometer Test, CPT)

Pengujian Sondir atau *cone penetration test* (CPT) merupakan salah satu pengujian lapangan yang bertujuan untuk mengetahui profil atau pelapisan (stratifikasi) tanah dan daya dukungnya. Stratifikasi tanah dan daya dukung dapat diketahui dari kombinasi hasil pembacaan tahanan ujung ( $q_c$ ) dan gesekan selimutnya ( $f_s$ ). Alat sondir berbentuk silindris dengan ujungnya berupa konus. **Prosedur pengujian Sondir mengacu pada SNI 2827:2008.**



Sondir menurut kapasitasnya dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Sondir ringan, memiliki kapasitas 0-250 kg/cm<sup>2</sup> dengan kedalaman 30 meter
2. Sondir berat, memiliki kapasitas 0-600 kg/cm<sup>2</sup> dengan kedalaman 50 meter

Sondir menurut jenis alatnya dibagi menjadi dua macam, yaitu:

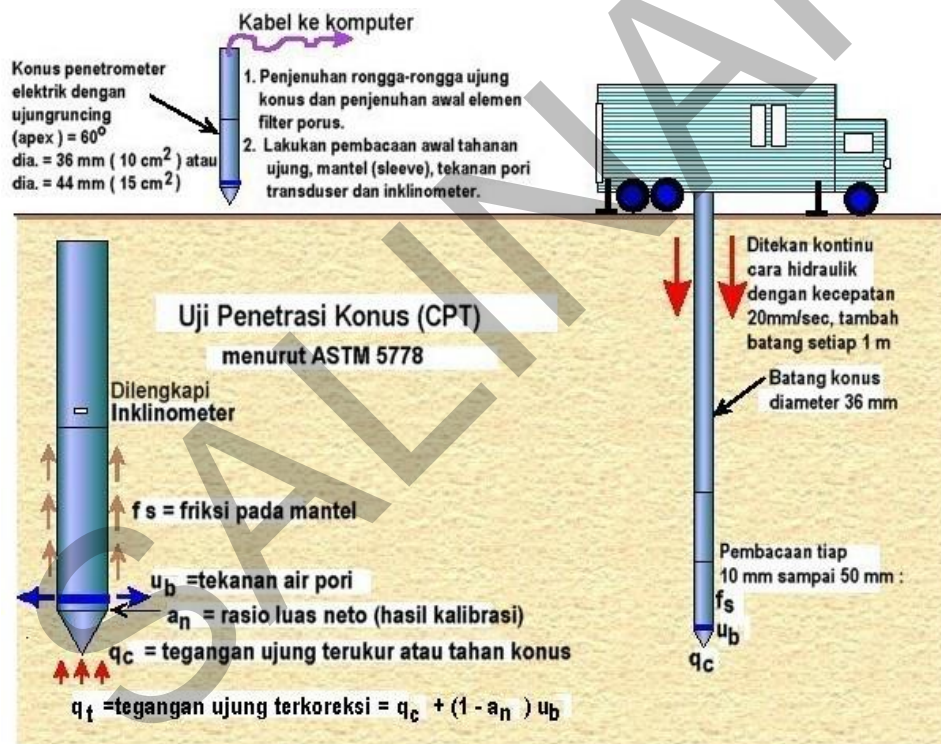
1. Sondir mekanis,

Sondir yang menghasilkan nilai tahanan ujung ( $q_c$ ) dan gesekan selimut ( $f_s$ ) mengacu pada ASTM D3441.

2. Sondir elektrik,

Sondir yang menghasilkan nilai tahanan ujung ( $q_c$ ), gesekan selimut ( $f_s$ ) dan tekanan air pori ( $u$ ) mengacu pada ASTM D5778.

Sondir manual **tidak direkomendasikan** untuk digunakan dalam penyelidikan tanah.



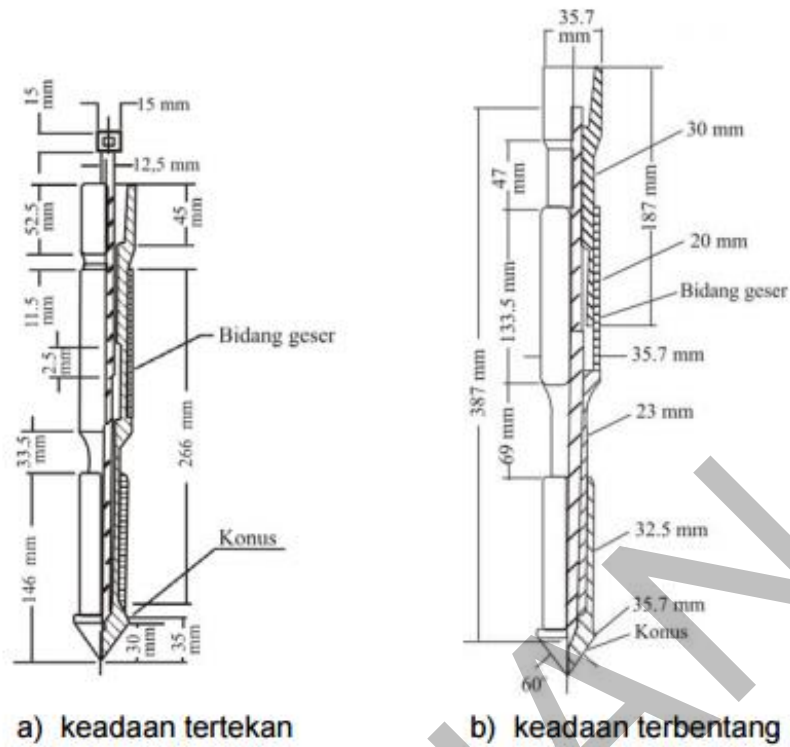
Gambar 5.2 Cara Kerja Alat Sondir Elektrik

### 5.2.1 Alat-alat

Peralatan yang digunakan dalam uji sondir yaitu:

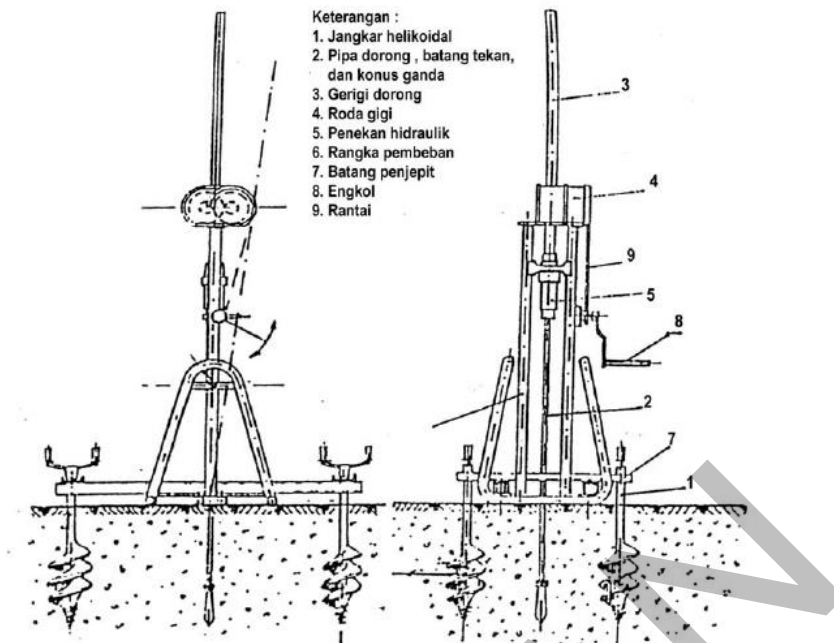
1. Konus

Konus adalah ujung alat penetrasi yang berbentuk kerucut untuk menahan perlawanan tanah.



Gambar 5.3 Konus pada pengujian sondir berdasarkan SNI 2827:2008 .

2. Mesin pembeban (mekanik atau hidrolik)
3. Selimut (bidang) geser
4. Pipa dorong
5. Batang dalam



Gambar 5.4 Rangkaian alat penetrasi konus berdasarkan SNI 2827:2008

## 5.2.2 Prosedur Uji dan Hasil Uji Sondir

Prosedur pelaksanaan sondir dan hasil uji sondir mengacu pada SNI 2827:2008.

## 5.2.3 Pengawasan Mutu Uji Sondir

Pengawasan terhadap mutu uji sondir mengacu pada SNI 2827:2008 dengan ketentuan sebagai berikut:

1. Pengawasan terhadap alat uji
2. Pengawasan terhadap persiapan pengujian
3. Pengawasan terhadap prosedur pengujian
4. Pengawasan terhadap pembacaan hasil uji

### 5.2.3.1 Pengawasan Alat Uji Sondir

Pengawasan terhadap alat uji sondir dapat mengikuti panduan di bawah ini, apabila semua pertanyaan memiliki jawaban ya, maka dapat dilanjutkan pada proses selanjutnya.

Tabel 5.1 Tabel Pengawasan Alat Uji Sondir

Pekerjaan:				
Lokasi:				
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
1	Peralatan	1. Konus		
		• Ujung konus bersusut $60^{\circ} \pm 5^{\circ}$	ya	tidak
		• Ukuran diameter konus $35,7 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$	ya	tidak
		• Bagian runcing konus berjari-jari $\leq 3 \text{ mm}$	ya	tidak
		• Konus terbuat dari baja dengan tipe dan kekerasan yang cocok untuk menahan abrasi	ya	tidak
		2. Selimut geser		
		• Diameter luar selimut geser $35,7 \text{ mm} + 0 - 0,5 \text{ mm}$	ya	tidak
		• Proyeksi ujung alat ukur penetrasi tidak melebihi diameter selimut geser	ya	tidak
		• Luas permukaan selimut geser $150 \text{ cm}^2 \pm 3 \text{ cm}^2$	ya	tidak
		• Sambungan aman terhadap masuknya tanah	ya	tidak
		3. Pipa dorong		
		• Pipa terbuat dari bahan baja panjang 1,00 m	ya	tidak
		• Pipa menerus sampai konus ganda	ya	tidak
		• Diameter luar pipa lebih kecil daripada diameter dasar konus ganda	ya	tidak
		• Semua pipa sondir mempunyai diameter dalam yang tetap	ya	tidak
		• Penyambungan pipa dengan penyekrupan	ya	tidak
		• Pipa bagian dalam sudah dilumasi	ya	tidak
		4. Batang dalam	ya	tidak
		• Batang dalam terbuat dari baja	ya	tidak
		• Batang dalam terletak didalam pipa dorong	ya	tidak
		• Batang-batang dalam mempunyai diameter yang konstan	ya	tidak
		• Panjang batang dalam sama dengan panjang pipa dorong	ya	tidak
		• Batang dalam mempunyai penampang melintang	ya	tidak
		• Jarang ruangan antara batang dalam dan pipa dorong berkisar antara 0,5 mm sampai 1,0 mm	ya	tidak
		• Batang dalam sudah dilumasi	ya	tidak
		• Pipa dorong dan batang dalam sudah dalam kondisi bersih dari butiran-butiran	ya	tidak
		5. Mesin Pembeban Hidraulik		
		• Rangka mesin pembeban dijepit oleh 2 buah batang penjepit	ya	tidak
		• Rangka mesin pembeban berfungsi sebagai dudukan penekan hidraulik	ya	tidak
		• Sistem penekan hidraulik dilengkapi dengan engkol pemutar, rantai, roda gigi, gerigi dorong, dan penekan hidraulik	ya	tidak
		• Terpasang 2 buah manometer pada penekan hidraulik	ya	tidak

### 5.2.3.2 Pengawasan Persiapan Pengujian

Pengawasan terhadap persiapan pengujian sondir dapat mengikuti panduan di bawah ini, apabila semua pertanyaan memiliki jawaban ya, maka dapat dilanjutkan pada proses selanjutnya

Tabel 5.2 Tabel Pengawasan Persiapan Uji Sondir

Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Persiapan	• Sudah disiapkan lubang konus dengan kedalaman sekitar 5 cm	ya		tidak
		• 4 buah angker masuk ke dalam tanah pada kedudukan yang tepat	ya		tidak
		• Rangka pembeban sudah berdiri vertikal	ya		tidak
		• Manometer sudah dipasang sesuai dengan tanah yang akan di uji	ya		tidak
		• Sistem hidrolik sudah diperiksa dengan cara menekan piston hidrolik	ya		tidak
		• Penekan hidrolik berada pada bagian atas rangka pembeban	ya		tidak
		• Balok balok penjepit sudah terpasang	ya		tidak
		• Rangka pembeban sudah kokoh berdiri	ya		tidak

### 5.2.3.3. Pengawasan Prosedur Pengujian

Pengawasan terhadap prosedur pengujian sondir dapat mengikuti panduan di bawah ini, apabila semua pertanyaan memiliki jawaban ya, maka dapat dilanjutkan pada proses selanjutnya

Tabel 5.3 Tabel Pengawasan Prosedur Uji Sondir

No. Gambar Referensi:					
No. Gambar Kerja:					
Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Persiapan	• Sudah disiapkan lubang konus dengan kedalaman sekitar 5 cm	ya		tidak
		• 4 buah angker masuk ke dalam tanah pada kedudukan yang tepat	ya		tidak
		• Rangka pembeban sudah berdiri vertikal	ya		tidak
		• Manometer sudah dipasang sesuai dengan tanah yang akan di uji	ya		tidak
		• Sistem hidrolik sudah diperiksa dengan cara menekan piston hidrolik	ya		tidak
		• Penekan hidrolik berada pada bagian atas rangka pembeban	ya		tidak
		• Balok balok penjepit sudah terpasang	ya		tidak
		• Rangka pembeban sudah kokoh berdiri	ya		tidak
		• Pelaksana melampirkan sertifikat kalibrasi alat	ya		tidak

### 5.2.3.3 Pengawasan Pembacaan Hasil Uji

Pengawasan terhadap prosedur pembacaan hasil uji dapat mengikuti panduan di bawah ini, apabila semua pertanyaan memiliki jawaban ya, maka proses dapat dianggap akurat.

Tabel 5.4 Tabel Pengawasan Pembacaan Hasil Uji Sondir

Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Pembacaan Hasil Uji	• Pembacaan nilai perlawanan konus dimulai dari 4 cm pertama	ya		tidak
		• Mencatat pembacaan pada formulir kolom Cw	ya		tidak
		• Melakukan pembacaan nilai perlawanan geser dan nilai perlawanan konus pada penekan sedalam 4 cm kedua	ya		tidak
		• Mencatat pembacaan pada formulir kolom Tw	ya		tidak

## 5.3 Pemboran Teknik

Pemboran teknik dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pelapisan tanah (pengambilan coring), pengambilan contoh tanah (*Undisturb Sample*, UDS) dan mengetahui parameter tanah dari hasil uji lapangan (seperti Standard Penetration Test, SPT; uji lapangan lainnya).

Tanah yang didapatkan dari pengambilan coring ditempatkan dalam *core box*. Dibuat boring log secara visual yang dilengkapi dengan data dari uji lapangan dan laboratorium.

Kedalaman titik bor untuk penyelidikan pondasi jembatan minimal 40 m. Apabila sampai kedalaman 40 m belum ditemukan tanah keras, maka kedalaman titik bor ditambah sampai menemukan tanah keras.

### 5.3.1 Jenis Bor Teknik

Berikut ini jenis-jenis dari Pengeboran Teknik:

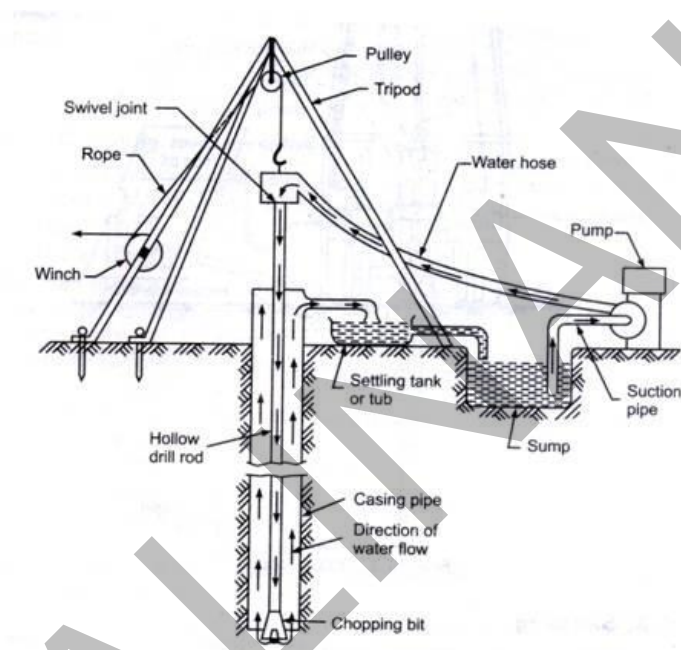
#### 1. Pengeboran Manual (*Auger Boring*)

Pemboran manual / pemboran tangan (*auger boring / hand boring*) merupakan suatu metode pemboran yang paling sederhana dan ekonomis pada kedalaman yang dangkal. Dilakukan dengan cara menekan dan memutar auger masuk kedalam tanah dasar. Kemampuan pemboran auger terbatas dan hanya cocok untuk kedalaman yang dangkal dan tidak sesuai digunakan untuk pengeboran di bawah muka air tanah. Kelebihan dari pemboran auger adalah: sederhana, mudah dioperasikan dan gangguan terhadap tanah minimal.



## 2. Pengeboran Bilas (*Wash Boring*)

Pada metode ini sebuah lubang bor dilakukan dengan gerakan memukul dan memutar (*chopping and twisting*) dari mata bor dengan menyemprotkan air dari bawah mata bor. Menggunakan mesin bor rotary, tanah dikorek dan dibilas dari dasar lubang bor dengan sirkulasi air. Kelebihan dan kekurangan dari pengeboran bilas adalah: tidak dapat untuk mengidentifikasi tanah, kurang sesuai untuk pemboran batuan, dapat digunakan disemua jenis tanah, sangat cocok untuk tanah lunak, gangguan terhadap struktur tanah sangat minimal. *Wash boring tidak direkomendasikan* untuk penyelidikan geoteknik.



Gambar 5.5 Wash Boring

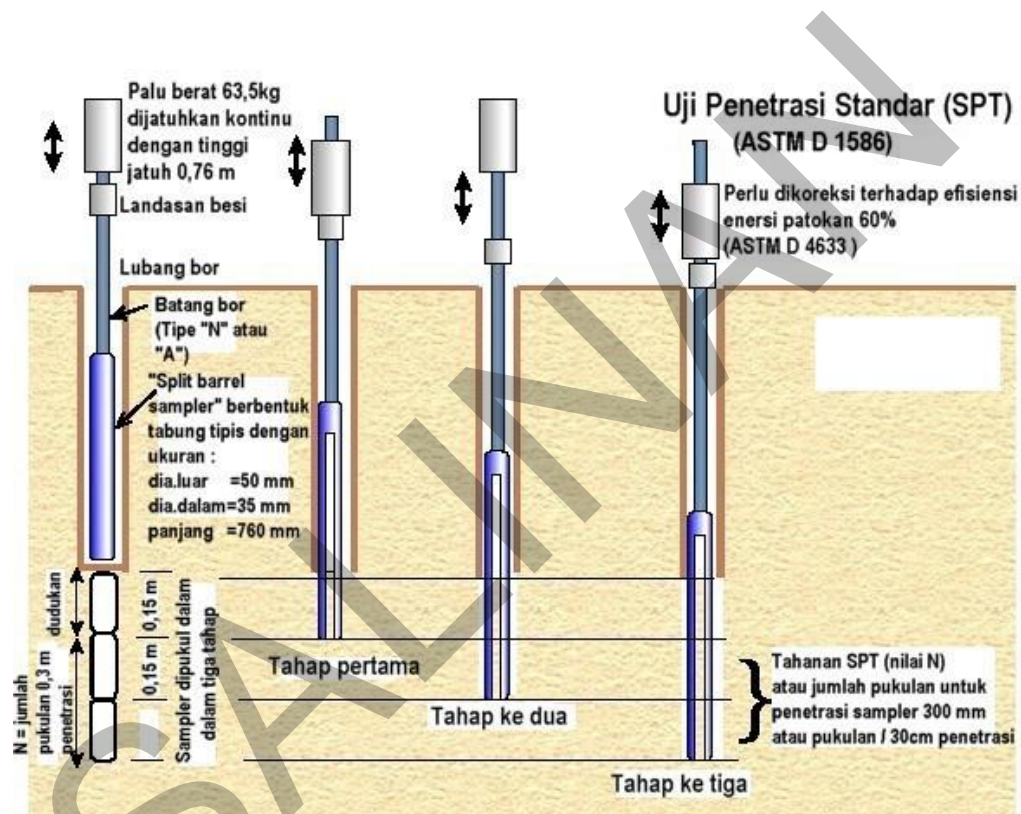
## 3. Pengeboran Inti (*Core Drilling*)

Pengeboran inti menggunakan mesin bor rotary. Untuk tabung tunggal tidak memerlukan sirkulasi air dan untuk tabung ganda atau triple memerlukan sirkulasi air. Kelebihan dan kekurangan dari pengeboran inti adalah: dapat digunakan pada batuan, dapat mengidentifikasi tanah secara langsung, tidak sesuai untuk pengeboran pada tanah lunak dapat mengganggu struktur tanah. **Sebuah standar untuk pencatatan dan interpretasi dari pemboran inti (*core drilling*) diberikan pada SNI 03-2436-1991 2008.**

### 5.4 Uji Penetrasi Standar (SPT)

SPT (*standard penetration test*) adalah metoda pengujian di lapangan dengan memasukkan (memancangkan) sebuah *Split Spoon Sampler* (tabung pengambilan contoh tanah yang dapat dibuka dalam arah memanjang) dengan diameter 50 mm dan panjang 500 mm. *Split spoon sampler*

dimasukkan (dipancangkan) ke dalam tanah pada bagian dasar dari sebuah lubang bor. Uji Standard Penetration Test (SPT) dilakukan pada setiap lubang bor teknik dengan interval pengujian setiap 2,0 m. Pada uji SPT, indikasi tanah keras diartikan sebagai lapisan tanah dengan nilai SPT di atas 50 pukulan / 30,0 cm sebanyak 3 (tiga) kali pada 3 (tiga) kedalaman berturut turut. Prinsip pelaksanaan uji penetrasi standar (SPT) yaitu dengan memukul sebuah tabung standar kedalam lubang bor sedalam 450 mm menggunakan palu 63,5 kg yang jatuh bebas dari ketinggian 760 mm. Yang dihitung adalah jumlah pukulan untuk melakukan penetrasi sedalam 150 mm. Jumlah yang digunakan adalah pada penetrasi sedalam 300 mm terakhir. **Pengujian SPT mengacu pada SNI 4153:2008 dan ASTM D-1586-67.**



Gambar 5.6 Skema urutan uji penetrasi standar (SPT) (sumber : SNI 4153-2008)

Variasi dari hasil pengujian dapat disebabkan oleh:

- Peralatan dibuat oleh pabrik yang berbeda. Namun demikian *rotary auger* dengan *safety hammer* merupakan kombinasi yang lebih umum;
- Konfigurasi hammer;
- Panjang batang penghubung (*drill rod*). Untuk panjang batang lebih dari 10 m dan nilai SPT lebih dari 30, pengaruh panjang batang ini cukup besar. *Drill rod* yang panjang dan lebih berat akan memperkecil energi yang diterima oleh batang sampel;
- Tegangan vertikal efektif;
- Variasi tinggi jatuh;

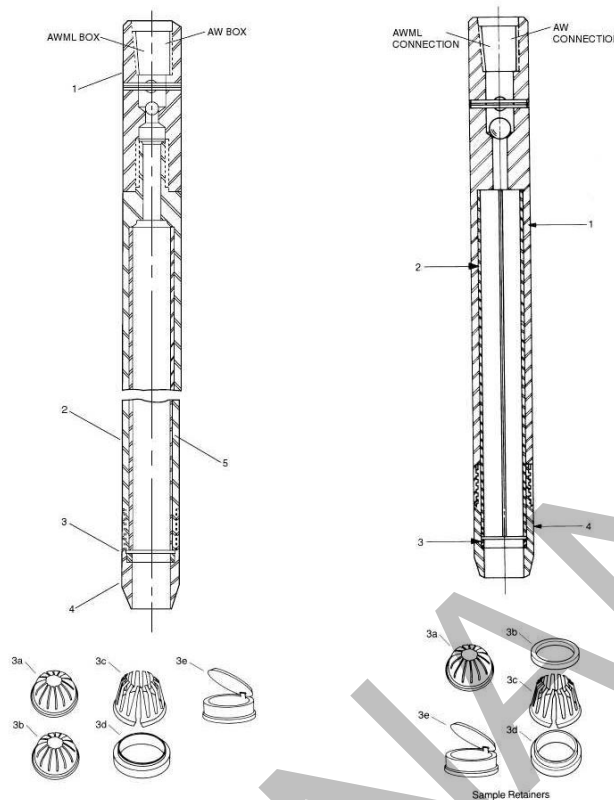


- Bila digunakan *cat-head*, jumlah lilitan dapat mempengaruhi energi;
- Cara pemboran dan metode stabilisasi dinding lubang bor;
- Lubang yang tidak sempurna pembersihannya dapat mengakibatkan runtuh tanah terperangkap ke dalam *split spoon* dan dapat menyebabkan  $N_{SPT}$  yang lebih besar dari nilai yang sebenarnya;
- Dipakai atau tidaknya *liner*;
- Ukuran lubang bor.

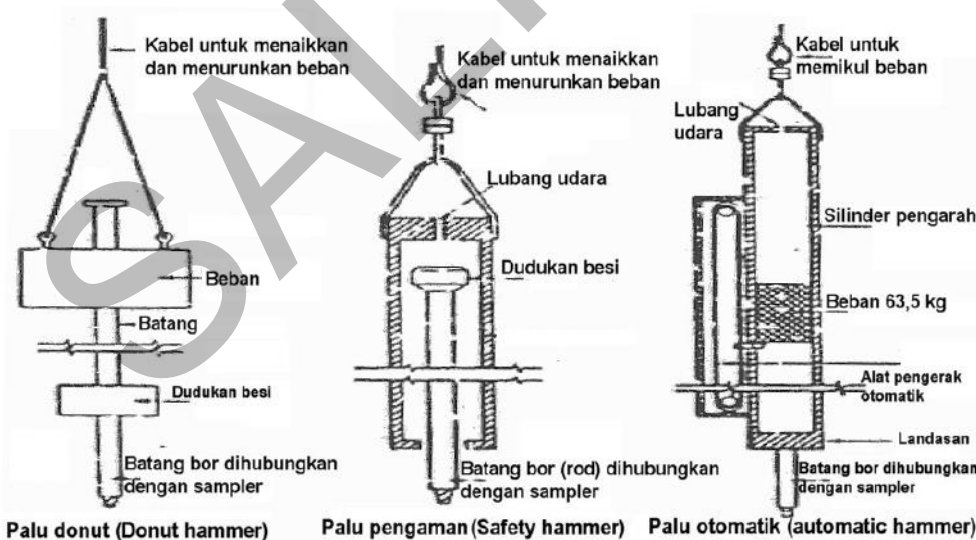
#### 5.4.1 Alat-Alat

Peralatan yang diperlukan dalam uji penetrasi dengan *SPT* adalah sebagai berikut:

- Mesin bor yang dilengkapi dengan peralatannya;
- Mesin pompa yang dilengkapi dengan peralatannya;
- Split barrel sampler*;
- Palu dengan berat 63,5 kg dengan toleransi meleset  $\pm 1\%$ ;
- Alat penahan (*tripod*);
- Rol meter;
- Alat penyipat datar;
- Kerekan;
- Kunci-kunci pipa;
- Tali yang cukup kuat untuk menarik palu;
- Perlengkapan lain.



Gambar 5.7 Contoh *Split Barrel Sampler*



Gambar 5.8 Contoh palu yang biasa digunakan dalam uji SPT (sumber : SNI 4153-2008)

Bahan penunjang pengujian yang dipergunakan adalah:

- Bahan bakar (bensin, solar);
- Bahan pelumas;
- Balok dan papan;

- d. Tali atau selang;
- e. Kawat;
- f. Kantong plastik;
- g. Formulir untuk pengujian;
- h. Perlengkapan lain.

#### 5.4.2 Prosedur Uji dan Hasil Uji SPT

**Prosedur uji SPT mengacu pada SNI 4153:2008**, di antaranya sebagai berikut:

- Mempersiapkan lubang bor hingga kedalaman uji;
- Memasukkan alat *split spoon sampler* secara tegak;
- Pastikan *hammer* jatuh dengan *free falling* (terjun bebas), tanpa ada hambatan sampai menumbuk;
- Menumbuk dengan *hammer* dan mencatat jumlah tumbukan setiap 15 cm penetrasi. *Hammer* dijatuhkan secara bebas pada ketinggian 760 mm;
- Nilai tumbukkan dicatat 3 kali ( $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ ) dimana nilai  $N_{spt} = N_1 + N_2$ . *Split spoon sampler* diangkat ke atas dan kemudian dibuka. Sampel yang diperoleh dengan cara ini merupakan sampel yang sangat terganggu;
- Sampel yang diperoleh dimasukkan ke dalam plastik untuk diuji di laboratorium. Pada plastik tersebut harus diberikan catatan nama proyek, kedalaman dan nilai  $N$ .

#### 5.4.3 Pengawasan Mutu Uji SPT

Pengawasan terhadap mutu uji SPT mengacu pada SNI 4153:2008, di antaranya sebagai berikut:

1. Pengawasan terhadap persiapan uji.
2. Pengawasan terhadap prosedur pengujian.

##### 5.4.3.1 Pengawasan Persiapan Uji SPT

Lakukan persiapan pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut.

Tabel 5.5 Pengawasan Persiapan Uji

Pekerjaan:

Lokasi:

No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
1	Persiapan	• Blok penahan sudah dipasang di pipa bor	ya	tidak
		• Pipa bor sudah diberi tanda pada ketinggian 75 cm	ya	tidak
		• Kedalaman lubang bor yang akan diuji sudah dibersihkan	ya	tidak
		• Split barrel sampler sudah dipasang di pipa bor	ya	tidak
		• Pipa bor pada ujung lainnya sudah disambungkan	ya	tidak
		• Peralatan uji SPT masuk kedalam dasar lubang bor sampai kedalaman yang diinginkan	ya	tidak
		• Batang bor sudah diberi tanda mulai dari 15 cm, 30 cm dan 45 cm	ya	tidak

#### 1.4.3.2 Pengawasan Prosedur Pengujian

Lakukan pengawasan prosedur pengujian SPT di lapangan dengan tahapan sebagai berikut

Tabel 5.6 Pengawasan Prosedur Pengujian

Pekerjaan:				
Lokasi:				
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
1	Prosedur Pengujian	•Interval pengujian diambil 2,0 m	ya	tidak
		• Tali pengikat palu sudah ditarik sampai pada tandan yang telah dibuat (sekitar 75 cm)	ya	tidak
		• Palu dilepas dan jatuh bebas menimpa penahan	ya	tidak
		•Dilakukan sampai penetrasi 15 cm pertama	ya	tidak
		• Dihitung jumlah pukulan atau tumbukan N pada penetrasi 15 cm yang pertama	ya	tidak
		• Di ulangi 3 langkah diatas sampai pada penetrasi 15 cm yang kedua dan ketiga	ya	tidak
		• Dicatat pukulan setiap penetrasi 15 cm	ya	tidak
		• Jumlah pukulan pertama diabaikan (hanya N2 + N3)	ya	tidak
		• Nilai N sudah lebih besar daripada 50	ya	tidak
		• Penghitungan nilai N dilanjutkan sampai 3 kali kedalaman pertama	ya	tidak

### 5.5 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah ini dapat terjadi dalam dua kondisi yaitu kondisi tanah terganggu (*disturb soil*) dan tanah tidak terganggu (*undisturb soil*). *Undisturbed sample* adalah contoh tanah yang masih menunjukkan sifat asli tanah. *Disturbed sample* adalah sampel tanah yang diambil tanpa ada usaha yang dilakukan untuk melindungi struktur asli tanah tersebut.

Sampel *undisturbed* ini secara ideal tidak mengalami perubahan struktur, kadar air, dan susunan kimia. Sampel tanah yang benar-benar asli tidak mungkin diperoleh, tetapi kerusakan sampel tanah dapat dibatasi sekecil mungkin. Tujuan dari pengambilan contoh adalah untuk pengujian laboratorium lebih lanjut supaya mendapatkan informasi geoteknik, seperti kuat geser dan karakteristik deformasi yang dibutuhkan untuk disain yang aman dan ekonomis.

Pengambilan sampel tak terganggu (*Undisturbed Sample/UDS*) umumnya dilakukan pada setiap lubang bor teknik dengan interval 5,0 m dan akan diuji di laboratorium. **Pengambilan sampel tak terganggu (UDS) mengikuti spesifikasi ASTM D-1587-83.**

### **5.5.1 Pengambilan Sampel Tanah Terganggu**

Sampel ini diperoleh dengan menggunakan alat yang mungkin dapat menghancurkan struktur makro tanah tetapi tidak mengganggu komposisi mineraloginya, dan dapat dilakukan dengan berbagai metode. Spesimen contoh ini dapat digunakan untuk mengetahui perkiraan litologi umum endapan tanah, identifikasi komponen tanah dan tujuan klasifikasi umum, ukuran butiran, batas-batas *atterberg* dan karakteristik pemadatan tanah.

#### **5.5.1.1 Tabung Laras Belah (*Split Barrel*)**

Tabung laras belah dapat digunakan untuk mengambil contoh tanah terganggu dari semua jenis tanah. Tabung tipikal ini digunakan untuk uji penetrasi standar atau SPT (ASTM D1586), dengan tabung contoh dipukul oleh hammer seberat 63,5 kg dan tinggi jatuh 76 mm. Pada umumnya, tabung berukuran standar panjang 457 mm dan 610 mm dengan diameter dalam berkisar antara 38,1 dan 114,3 dalam inkremen sebesar 12,7 mm.

#### **5.5.1.2 Tabung Modifikasi California**

Tabung modifikasi california adalah tabung berbaris yang ukurannya besar dengan diameter luar 64 mm dan diameter dalam 51 mm. Sepatu pisau hampir sama dengan tabung laras belah, tetapi diameter dalam umumnya 49 mm.

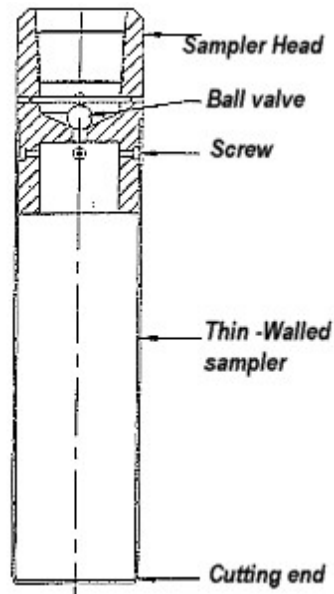
.

### **5.5.2 Pengambilan Sampel Tanah Tak Terganggu (*Undisturbed sample*)**

Sampel tanah tak terganggu yang diperoleh dari lapisan tanah lempung akan digunakan dalam uji laboratorium untuk mengetahui sifat-sifat teknik tanah. Sampel tanah tak terganggu dari tanah berbutir kasar dapat juga diambil dengan prosedur khusus, seperti pembekuan atau pengisian lilin dan tabung blok atau tabung inti. Pengambilan sampel yang dilakukan dengan alat khusus ini, digunakan untuk membantu mengurangi gangguan pada struktur tanah in situ dan kadar air tanahnya. Sampel tanah tidak terganggu dapat pula digunakan untuk mengetahui kekuatan, stratifikasi, kelulusan air, kepadatan, konsolidasi, sifat dinamik, dan sifat teknik tanah lainnya. Pengambilan sampel tanah tak terganggu disarankan setiap interval kedalaman 5 meter dan setiap lapisan tanah.

#### **5.5.2.1 Tabung dinding tipis (*thin wall sampler*)**

Tabung dinding tipis biasanya digunakan untuk mendapatkan contoh tanah kohesif yang relatif tidak terganggu untuk keperluan uji kekuatan dan uji konsolidasi. Tabung dinding tipis yang biasanya digunakan mempunyai diameter luar 76 mm (3,071) dan diameter dalam 73 mm dengan rasio luas sebesar 9%. Diameter luar bervariasi antara 51 mm dan 76 mm dan panjang tipikal berkisar dari 700 mm sampai 900 mm. Tabung berdiameter lebih besar digunakan untuk contoh yang berkualitas lebih tinggi agar gangguan pengambilan contoh dapat dikurangi (ASTM D 1587).



Gambar 5.9 Contoh tabung dinding tipis *shelby*

Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan tabung dinding tipis *Shelby* adalah seperti berikut:

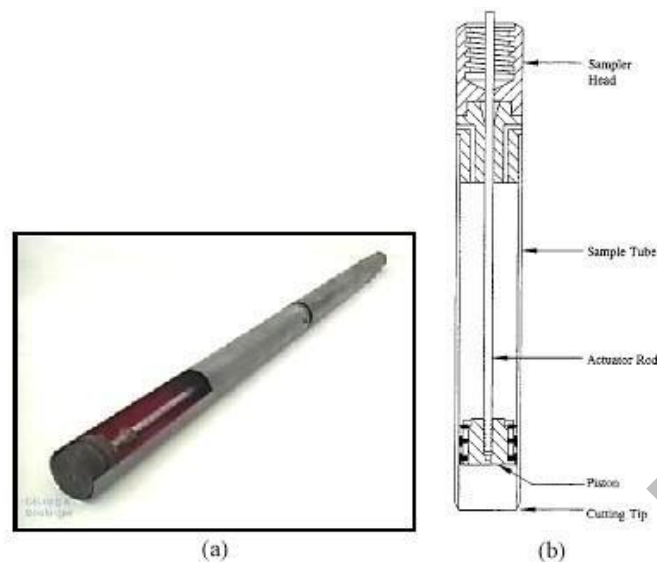
- a) Tabung ini diproduksi pabrik dan terbuat dari baja karbon, baja karbon berlapis seng, baja dan kuningan. Tabung baja karbon biasanya paling murah, tetapi tidak cocok untuk contoh yang harus disimpan lebih dari beberapa hari atau jika bagian dalam lubang tabung berkarat, sehingga menambah gesekan antara tabung dan contoh tanah. Tabung baja karbon berlapis seng lebih cocok digunakan pada tanah kaku, karena baja karbon lebih kuat, murah, dan perlapisan seng memberikan perlawanan tambahan terhadap korosi. Pengeboran pada jembatan yang terletak jauh dari pantai, kondisi air asin, atau waktu penyimpanan yang lama, sebaiknya digunakan tabung nirbaja. Tabung dengan ujung depan dimiringkan, digunakan untuk memotong contoh berdiameter lebih kecil (72 mm) untuk mengurangi gesekan. Tabung jenis ini dapat juga didorong dengan tinggi tekan tetap atau tinggi tekan piston.
- b) Tabung ini tidak boleh didorong melebihi panjang total sampai ke sambungan tutup (*cap*) kurang dari 75 mm. Sisa panjang tabung sebesar 75 mm dimaksudkan untuk menampung runtuhannya yang mungkin bertambah atau berkurang pada dasar lubang bor. Panjang contoh diperkirakan sebesar 600 mm. Jika contoh terdiri atas tanah dengan kepadatan rendah atau tanah runtuh, diperlukan dorongan yang tereduksi sebesar 300 mm sampai 450 mm untuk mencegah gangguan pada contoh.
- c) Tabung harus digerakkan perlahan-lahan secara kontinu dengan menggunakan perlengkapan bor sistem hidrolik. Tekanan hidrolik harus dicatat dan didata pada daftar log. Kepala tabung berisi katup pemeriksa yang memungkinkan air melewati tinggi pengambilan contoh ke dalam batang bor. Katup pemeriksa harus bersih dari sedimen dan pasir serta diperiksa sebelum percobaan pengambilan contoh.

- d) Setelah alat selesai didorong, harus menunggu minimal sepuluh menit untuk memberi kesempatan contoh mengembang sedikit dalam tabung. Kemudian tali batang bor diputar dua kali penuh agar contoh dapat dipotong dengan hati-hati dan dibawa ke permukaan tanah. Akan tetapi, untuk tanah kaku biasanya tabung contoh tidak perlu diputar.
- e) Setelah tabung diambil, runtuh atau potongan contoh dari ujung tabung bagian atas harus dipindah dengan menggunakan alat pembersih. Panjang contoh yang diambil harus diukur, dan tanah diklasifikasi untuk penyusunan catatan bor (log bor). Contoh tanah setebal 25 mm pada dasar ujung tabung harus dipindah ke tempat penyimpanan dan diberi label. Kedua ujung tabung dipasang piringan plastik lalu ditutup dengan lapisan lilin (parafin) mikrokristalin setebal minimal 25 mm, untuk melindungi ujung-ujung contoh.
- f) Rongga-rongga yang ada di bagian atas contoh harus diisi dengan pasir lembap. Tutup ujung plastik harus melingkupi kedua ujung dan pita elektrik menutupi pelipatan antara leher penutup (*collar*) dan tabung serta lubang-lubang sekrup. Kemudian leher ujung-ujung tabung dimasukkan ke dalam cairan lilin (parafin), dan cincin *packer* dimasukkan ke ujung contoh dan ditutup agar tersimpan dengan baik. Contoh harus disimpan tegak lurus dan terlindungi untuk menghindari pembekuan, pengawetan dengan pengeringan, dan perubahan kadar air (ASTM D4220). Cara ini banyak digunakan karena lebih bersih dan lebih cepat pengerjaannya.
- g) Di beberapa daerah, tabung jenis ini dapat dikeluarkan di lapangan dan tidak perlu diangkut ke laboratorium. Namun, tidak disarankan karena kondisi operasi di lapangan tidak dapat dikontrol, dan tidak boleh digunakan jika alat bor tidak mempunyai prosedur pelaksanaan dan peralatan untuk pengambilan dan transportasi contoh. Selanjutnya, contoh dalam tabung harus diangkut ke laboratorium uji, dan dikeluarkan dengan hati-hati sesuai dengan prosedur standar (ASTM D4220)

#### 5.5.2.2 Tabung Piston

Tabung piston adalah tabung dinding tipis yang dilengkapi dengan piston, batang, dan modifikasi kepala tabung, yang dikenal pula sebagai tabung *Osterberg* atau *Hvorslev*. Tabung ini terutama digunakan untuk pengambilan contoh tanah lunak yang sulit dilakukan, walaupun dapat juga digunakan untuk tanah kaku.





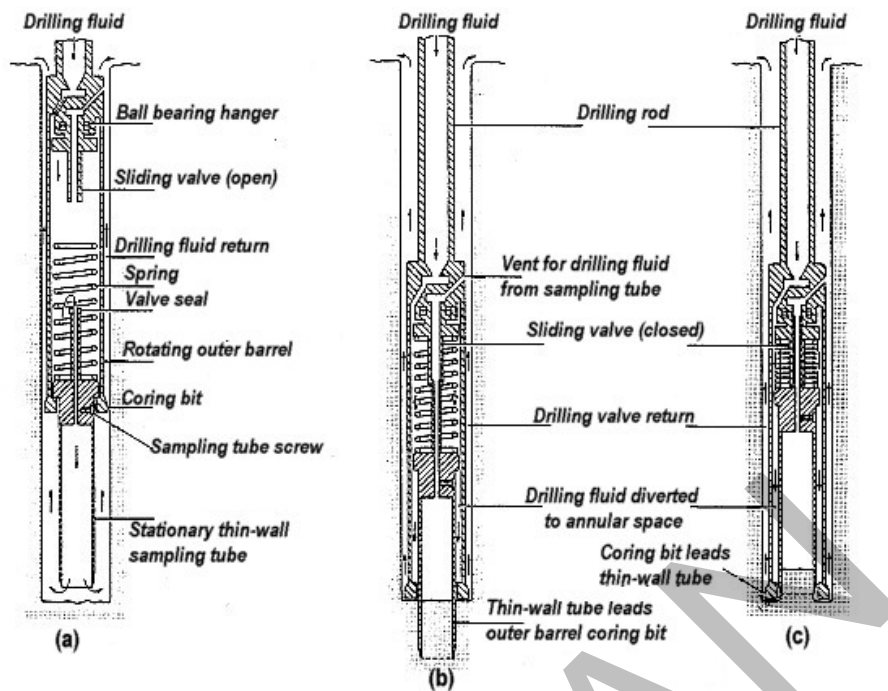
Gambar 5.10 Contoh tabung piston

Dalam penggunaan tabung piston perlu dipertimbangkan hal-hal sebagai berikut.

- 1) Tabung piston ditempatkan pada dasar tabung contoh, dan diturunkan ke dasar lubang bor, lalu batang piston ditarik dengan kecepatan relatif tetap ke permukaan tanah, dan tabung dinding tipis didorong ke tanah perlahan-lahan dengan tekanan hidrolik atau dinaikkan/didongkrak secara mekanik, namun tabung tidak boleh dipukul.
- 2) Pada akhir pengambilan contoh, tabung dipindahkan dari lubang bor dan tabung hampa udara antara piston dan bagian atas contoh dipatahkan. Kemudian kepala piston dan piston dipindahkan dari tabung dan contoh diambil dari atas dan dasar tabung contoh untuk keperluan identifikasi. Selanjutnya tabung diberi label dan ditutup dengan cara yang sama seperti tabung *Shelby*.
- 3) Kualitas contoh yang terambil sangat baik dan probabilitasnya tinggi. Keuntungan piston tetap adalah dapat mencegah masuknya tanah berlebihan pada awal pengambilan contoh, sehingga dapat menghindari rasio perbaikan lebih besar dari 100%, dan membantu mendorong tanah masuk ke dalam tabung dengan kecepatan tetap. Kepala tabung yang digunakan juga berfungsi sebagai tabung hampa udara, yang dapat membantu menahan contoh lebih baik daripada katup bola pada tabung dinding tipis *Shelby*.

### 5.5.2.3 Tabung Pitcher

Tabung *pitcher* digunakan untuk lempung kaku sampai keras dan batuan lunak serta disesuaikan dengan pengambilan contoh sedimen, yang terdiri atas lapisan keras dan lunak. Komponen-komponen utama terdiri atas laras inti putar luar dengan bit dan bagian dalam yang tetap, beban pegas, tabung dinding tipis yang mendorong atau menarik batang bor laras luar, dan bergantung pada kekerasan material yang akan dipenetrasi.



Gambar 5.11 Contoh tabung pitcher (FHWA NHI-01-031)

Dalam penggunaan tabung *pitcher* perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut.

- Jika lubang bor telah dibersihkan, tabung diturunkan ke dasar lubang hingga tabung mengalami perlawanan dan laras luar meluncur melalui tabung, dan pegas pada bagian atas tabung berhubungan dengan bagian atas laras luar.
- Pada waktu yang sama, katup luncur tertutup sehingga air pembilas mengalir ke bawah ruang antara tabung dan laras inti luar, serta ke atas antara tabung contoh dan dinding lubang bor.
- Pada tanah lunak pegas akan menekan tabung, sehingga tanah dapat diambil.
- Pada tanah keras pegas menekan tabung lebih kuat sambil matabor berputar, sehingga contoh dapat diambil. Banyaknya contoh yang dapat diambil bergantung pada kekerasan material yang akan dipenetrasi. Kemampuan menekan tabung dapat mencapai 150 mm, sedangkan kemampuan tekan matabor hanya mencapai 12 mm.
- Pengambilan contoh dilakukan dengan memutar matabor (*barrel*) luar dengan kecepatan 100-200 putaran per menit (rpm) pada waktu tekanan bekerja ke bawah. Pengambilan contoh tanah lunak pada prinsipnya sama dengan tabung dinding tipis, dan bit dapat memindahkan material sekitar tabung. Pada tanah keras laras luar akan memotong inti hingga mencapai diameter dalam tabung contoh dan pemotong ujung masuk ke dalam tabung pada waktu dilakukan penetrasi.
- Selain itu, contoh dapat terlindungi terhadap erosi dari air pembilas di dasar tabung. Kemudian tabung contoh yang terisi tanah dipindahkan dari alat pengambil contoh dan diberi tanda/label, disiapkan dan diangkat dengan cara yang sama seperti tabung dinding tipis.

Tabel 5.7 Metode pengambilan contoh tanah yang umum dilakukan

Tabung	Terganggu/tak terganggu	Jenis tanah yang cocok	Metode penetrasi
Tabung laras belah ( <i>split-barrel</i> )	Terganggu	Pasir, lanau, lempung	Dipukul dengan palu
Tabung dinding tipis ( <i>thin-walled shelly tube</i> )	Tak terganggu	Lempung, lanau, tanah berbutir kasar halus, pasir lempungan	Didorong secara mekanik
Tekan menerus( <i>continuous push</i> )	Sebagian tak terganggu	Pasir, lanau dan lempung	Didorong secara hidrolik dengan lining plastic
Piston	Tak terganggu	Lanau dan lempung	Didorong secara hidrolik
Pitcher	Tak terganggu	Lempung kaku sampai keras, lanau, pasir, batuan lapuk sebagian dan tanah berbutir kasar beku atau terisi lilin	Rotasi dan tekanan hidrolik
Modified california	Terganggu	Pasir, lanau, lempung dan kerikil	Dipukul dengan <i>hammer</i>

### 5.5.3 Alat-Alat

Alat-alat yang dibutuhkan untuk pengambilan sampel tanah adalah:

1. Tabung yang dibutuhkan
2. Lilin Parafin
3. Plastik Pembungkus tanah
4. Label untuk sampel tanah

### 5.5.4 Pengawasan Pengambilan Sampel Tanah

Pengawasan pengambilan sampel tanah dibagi menjadi dua tahap, yaitu:

1. Pengawasan pengambilan sampel tanah
2. Pengawasan penyimpanan sampel tanah

#### 5.5.4.1 Pengawasan Pengambilan Sampel Tanah

Berikut ini pengawasan pengambilan sampel tanah tak terganggu (*Undisturbed Sample/UDS*):

Tabel 5.8 Pengawasan Pengambilan Sampel Tanah

Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Pengambilan Tanah	• Tabung tidak penyok (dalam kondisi baik)	ya		tidak
		• Lubang bor tidak mengalami hambatan sebelum pengambilan sampel	ya		tidak
		• Penekanan dalam kecepatan konstan untuk tanah lunak-sedang	ya		tidak
		• Penekanan dalam satu kali dorongan untuk tanah lunak-sedang	ya		tidak
		• Pemukulan tabung dilakukan untuk tanah sedang dan lengket	ya		tidak
		• Penetrasi tabung $\leq 6 \times$ diameter tabung untuk tanah sedang dan lengket	ya		tidak

#### 5.5.4.2 Pengawasan Penyimpanan Benda Uji Sampel Tanah Tak Terganggu

Berikut ini teknik penyimpanan dan perlakuan benda uji / tabung sampel tanah tak terganggu (*Undisturbed Sample/UDS*):

Tabel 5.9 Pengawasan Pengambilan Sampel Tanah

Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Penyimpanan Benda Uji	• Tabung ditutup dengan lilin parafin	ya		tidak
		• Disimpan ditempat teduh	ya		tidak
		• Tabung diberi label	ya		tidak
		• Tabung dibungkus busa selama pengangkutan	ya		tidak
		• Penyimpanan dilakukan dalam kondisi tegak dan ruangan yang sejuk	ya		tidak
		• Pengujian laboratorium dilakukan segera	ya		tidak

## 5.6 Sumur PIT

Pit test dilakukan dengan melakukan penggalian lubang secara manual berukuran bujur sangkar dengan lebar 1.50 dan kedalaman maksimum dari pit test adalah 2.0 m. Sampel yang diambil dari pit test ini diuji kompaksi dan CBR di laboratorium. Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui kelayakan material tersebut sebagai bahan timbunan.

## 5.7 Penyelidikan Lapangan Lainnya

### 5.7.1 Uji Geser Baling (*Vane Shear Test*)

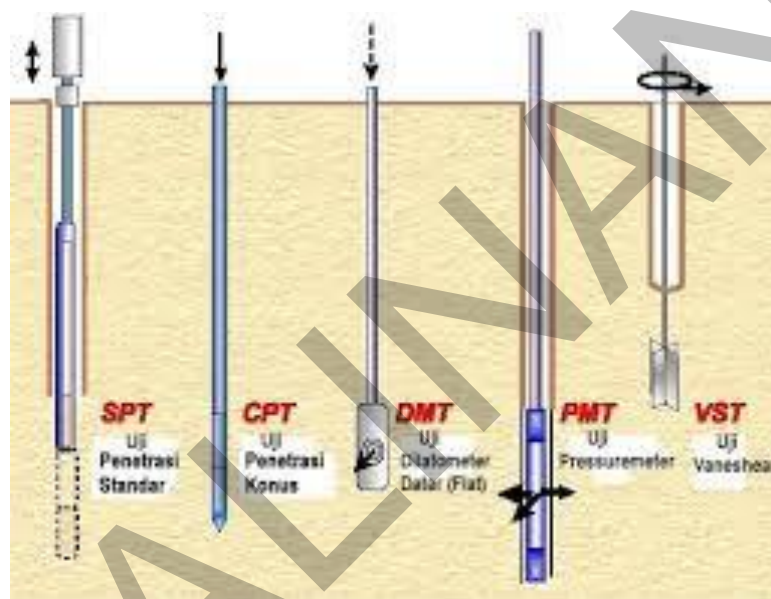
Uji geser baling dilakukan dengan cara menusukkan baling pada kedalaman titik uji yang diinginkan dan memutar baling tersebut dengan kecepatan putaran yang konstan sebesar 6°/menit hingga runtuh.

Torsi maksimum,  $T$ , yang terukur selama pemutaran digunakan untuk menentukan nilai kuat geser tak teralir,  $S_u$ . Selain parameter kuat geser tanah, uji VST dapat digunakan untuk mengetahui tegangan prakonsolidasi dengan cara empirik.

### 5.7.2 Uji Pressuremeter

Uji pressuremeter, PMT, berupa silinder karet yang dimasukkan ke dalam lubang bor hingga kedalaman uji dan kemudian dikembangkan pada arah radial. Sistem ini sering disebut juga dengan istilah *preboring pressuremeter*.

Keuntungan dari uji ini adalah karena modulus geser tanah dapat diperoleh dilapangan (*in-situ*). Demikian pula besarnya koefisien tekanan tanah *lateral at rest* atau  $K_0$ . Besaran-besaran lain seperti kuat geser tanah juga dapat diperoleh dari uji ini.



Gambar 5.12 Macam-Macam Penyelidikan Lapangan

### 5.7.3 Uji Dilatometer

Uji dilatometer merupakan uji yang relatif sederhana untuk mengukur perlawanan tanah dalam arah horizontal. Alat ini berupa suatu pisau atau *blade* khusus dengan lebar 95 mm, panjang 240 mm dan tebal 15 mm. Di satu sisi blade terdapat sebuah membran logam berbentuk lingkaran dengan diameter 60 mm yang dapat dikembangkan ke arah luar.

### 5.7.4 Uji Dynamic Cone Penetrometer (DCP)

Pengujian cara dinamis ini dikembangkan oleh TRL (*Transport and Road Research Laboratory*), Crowthorne, Inggris dan mulai diperkenalkan di Indonesia sejak tahun 1985/1986. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR (*California Bearing Ratio*) tanah dasar, timbunan, dan atau suatu sistem perkerasan. Pengujian ini akan memberikan data kekuatan tanah sampai kedalaman

kurang lebih 70 cm di bawah permukaan lapisan tanah yang ada atau permukaan tanah dasar. Pengujian ini dilakukan dengan mencatat data masuknya konus yang tertentu dimensi dan sudutnya, ke dalam tanah untuk setiap pukulan dari palu/hammer yang berat dan tinggi jatuh tertentu pula.

#### 5.7.5 *Downhole Seismic Test*

*Downhole Seismic Test* merupakan salah satu metode pengujian untuk mempelajari sifat perambatan gelombang gempa saat melalui berbagai lapisan tanah pada satu lokasi tertentu. Dalam memahami perilaku gempa saat mencapai permukaan tanah, diperlukan analisa pengaruh lapisan tanah yang berada di atas lapisan tanah keras. Agar analisa tersebut mungkin dilakukan dan mendapatkan hasil yang benar, maka tentulah diperlukan parameter-parameter tanah yang mampu menggambarkan sifat perambatan gelombang tersebut. Dengan melakukan *Downhole Seismic Test*, maka akan diperoleh parameter yang dibutuhkan tersebut.

Ada dua jenis gelombang seismik yang berhubungan erat dengan elastisitas tanah, yaitu gelombang *P-Wave (Compressional Wave)* dan *S-Wave (Shear Wave)*. Dikatakan berhubungan erat, karena gelombang tersebut mampu merambat melalui suatu medium tanah, tidak seperti gelombang permukaan (*Surface Waves*). Karena itu, pada analisa gerakan tanah, dibutuhkan kedua parameter ini. Dalam ilmu gempa, *S-Wave* merupakan gelombang yang biasa terekam pada Seismograf setelah gelombang *P-Wave*. Hal ini dikarenakan *S-Wave* merambat dengan kecepatan yang lebih rendah daripada *P-Wave*. Persamaan untuk kecepatan

#### 5.7.6 Geolistrik

Geolistrik adalah suatu metoda eksplorasi geofisika untuk menyelidiki keadaan bawah permukaan dengan menggunakan sifat-sifat kelistrikan batuan. Sifat-sifat kelistrikan tersebut adalah, antara lain: tahanan jenis (*specific resistivity*, *conductivity*, *dielectrical constant*, kemampuan menimbulkan *self potential* dan medan induksi serta sifat menyimpan potensial dan lain-lain). Pengujian geolistrik didasarkan pada resistivitas (hambatan) dari setiap jenis tanah yang dialiri oleh listrik.

Pengukuran resistivitas dilakukan dengan instrumen berupa *Resistivity Meter* sebagai unit utamanya, dilengkapi oleh beberapa perangkat penunjang seperti batang-batang elektroda, kabel-kabel penghubung, sumber daya listrik (*battery/accu*), dll. Prinsip pengukuran geolistrik resistivitas ini pada dasarnya cukup sederhana. Mengacu pada Hukum Ohm,  $V=I.R$ , yaitu dengan menginjeksikan/menghantarkan arus listrik  $I$  ke dalam tanah (tanah/bumi sebagai medium hantar berhambatan  $R$ ) melalui sepasang elektroda arus, dan mengukur beda potensial  $V$  yang timbul melalui sepasang elektroda potensial pada jarak tertentu dari elektroda arus. Resistivitas terukur umumnya dinyatakan dalam satuan Ohm-meter ( $\Omega m$ ).

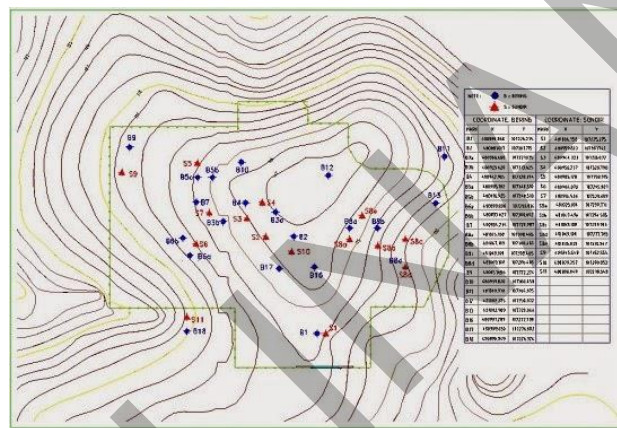


## 5.8 Jumlah dan Jarak Titik Penyelidikan Lapangan

Secara umum lokasi pekerjaan penyelidikan tanah akan dituangkan dalam sebuah layout desain penyelidikan tanah. Pengukuran dalam menentukan posisi titik penyelidikan tanah dapat menggunakan beberapa cara, antara lain:

1. Menggunakan meteran ukur terhadap titik acu (*benchmark*) atau bangunan yang sudah ada di lokasi penyelidikan tanah.
2. Sistem koordinat.

Dari kedua cara tersebut tentu dengan menggunakan sistem koordinat akan lebih akurat bila dibandingkan tarikan manual dengan meteran, apalagi kalau lokasi tanah yang akan diselidiki masih berupa lahan kosong. Akurat di sini yang dimaksud adalah ketepatan antara titik penyelidikan tanah yang dituangkan dalam gambar teknis dengan lokasi penyelidikan di lapangan.



Gambar 5.13 Layout Penyelidikan Tanah dengan Sistem Koordinat

Idealnya penyelidikan tanah harus dilakukan sedapat mungkin pada titik atau koordinat yang ada pada layout desain penyelidikan tanah. Namun apabila kondisi medan atau kontur di lapangan yang tidak memungkinkan pada titik atau koordinat tersebut, maka pekerjaan penyelidikan tanah boleh digeser maksimal 3 meter dan melalui persetujuan oleh ahli geoteknik.

Lokasi dan jumlah titik-titik penyelidikan lapangan, seperti sondir, lubang bor + SPT + UDS, uji sumur, maupun uji-uji langsung di lapangan lainnya, harus ditentukan sehingga gambaran geologi umum dari lokasi secara keseluruhan dapat diperoleh dengan detil dan sifat- sifat teknik dari tanah di bawah permukaan. Untuk penyelidikan detail bergantung pada bentuk konstruksi. Apabila bentuk konstruksi persegi memakai jarak setiap 25 sampai 50 meter, untuk konstruksi memanjang setiap 50 sampai dengan 100 meter.

*Terzaghi dan Peck* merekomendasikan jumlah titik penyelidikan tanah sebagai berikut:

1. Untuk jembatan dan bendungan titik penyelidikan tanah diletakkan pada sumbu-sumbu struktur untuk mengetahui apakah pada lokasi tersebut kondisi tanah yang ada mampu mendukung beban struktur.

2. Masih untuk jembatan, titik penyelidikan yang lain diletakkan di bawah pangkal jembatan atau pilar.
3. Pada bendungan titik penyelidikan yang lain dilakukan pada lokasi bangunan pelengkap seperti lokasi bendungan elak.

### 5.8.1 Jumlah dan Jarak Titik Penyelidikan Lapangan untuk Pondasi dan DPT Jembatan

Jarak titik penyelidikan lapangan untuk pondasi dan DPT jembatan berkisar antara 25-50 meter (bangunan persegi). Lokasi untuk titik penyelidikan lapangan sebaiknya pada setiap pilar atau abutment. Jumlah titik penyelidikan lapangan pada setiap pilar atau abutment berkisar antara 1-4 titik (untuk sondir) dan 0-2 titik (untuk bor). Jumlah ini sangat bergantung dari bentang jembatan (beban), kondisi geologi setempat atau menyesuaikan dengan kebutuhan. Berikut ini secara umum jumlah minimal dan jarak titik Sondir dan Bor untuk Pondasi dan DPT Jembatan.

Tabel 5.10 Jumlah Minimal dan Jarak Titik Sondir untuk Pondasi dan DPT pada Jembatan

No	Jumlah Minimal dan Jarak Titik Sondir		Keterangan
	Bentang Jembatan	Pondasi dan DPT	
1	Pendek (6-20 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Titik untuk lebar jembatan 7 meter</li> <li>• 2 Titik untuk lebar jembatan 14 meter</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat
2	Sedang (20-100 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 Titik untuk lebar jembatan 7 meter</li> <li>• 3 Titik untuk lebar jembatan 14 meter</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat
3	Panjang (>100 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 Titik untuk lebar jembatan 7 meter</li> <li>• 4 Titik untuk lebar jembatan 14 meter</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat



Tabel 5.11 Jumlah Minimal dan Jarak Titik Bor untuk Pondasi dan DPT pada Jembatan

No	Jumlah Minimal dan Jarak Titik Bor (SPT+UDS)		Keterangan
	Bentang Jembatan	Pondasi dan DPT	
1	Pendek (6-20 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Titik</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>
2	Sedang (20-100 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2 Titik</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>
3	Panjang (>100 m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-3 Titik untuk bentang 100-200m</li> <li>• 4 Titik untuk bentang lebih dari 200 m</li> <li>• Setiap lokasi abutment dan pilar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>

### 5.8.2 Jumlah dan Jarak Titik Penyelidikan Lapangan untuk Oprit Jembatan

Jarak titik penyelidikan lapangan untuk oprit jembatan berkisar antara 50-100 meter (bangunan memanjang). Lokasi untuk titik penyelidikan lapangan sebaiknya menyebar sepanjang bangunan oprit jembatan (sepanjang timbunan). Jumlah titik penyelidikan lapangan untuk oprit jembatan berkisar antara 1-4 titik (untuk sondir) dan 0-2 titik (untuk bor). Jumlah ini sangat bergantung dari tinggi timbunan oprit, kondisi geologi setempat atau menyesuaikan dengan kebutuhan.

Berikut ini secara umum jumlah minimal dan jarak titik Sondir dan Bor untuk oprit jembatan.

Tabel 5.12 Jumlah Minimal dan Jarak Titik Sondir pada Oprit Jembatan

No	Jumlah Minimal dan Jarak Titik Sondir		Keterangan
	Tinggi Oprit	Oprit	
1	Rendah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2 Titik</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat
2	Sedang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2-3 Titik</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat
3	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-4 Titik</li> </ul>	Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat

Tabel 5.13 Jumlah minimal dan Jarak Titik Bor dan SPT pada Oprit Jembatan

No	Jumlah minimal dan Jarak Titik Bor dan SPT		Keterangan
	Tinggi Oprit	Oprit	
1	Rendah	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 0-1 Titik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>
2	Sedang	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 Titik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>
3	Tinggi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1-2 Titik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menyesuaikan dengan kebutuhan dan tergantung dari kondisi geoteknik setempat</li> <li>• Menggunakan bor teknik jika tanah dasar bukan tanah lunak</li> <li>• Menggunakan hand boring jika tanah dasar merupakan tanah lunak</li> </ul>

## 6. Penyelidikan Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi geoteknik (parameter fisik dan mekanik tanah) yang dibutuhkan untuk desain bangunan yang aman dan ekonomis. Hasil pengujian akan memberikan dasar untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasi serta untuk mengevaluasi karakteristik kekuatan dan kompresibilitas lapisan tanah. AASHTO (1988) menyusun daftar pengujian yang penting dengan urutan perkiraan menurut biaya yang semakin meningkat sebagai berikut:

- pemeriksaan visual,
- kadar air asli,
- batas plastis dan cair,
- analisis butiran (mekanik),
- uji baling laboratorium tekan bebas,
- pemadatan atau kepadatan relatif,
- California Bearing Ratio, CBR,
- Permeabilitas,
- geser langsung,
- tekan triaksial,
- konsolidasi

Banyaknya pengujian laboratorium akan bervariasi untuk setiap proyek, bergantung pada faktor-faktor yang telah dibahas sebelumnya. Meskipun demikian, pengujian klasifikasi secara lengkap seharusnya dilaksanakan pada semua proyek.

Berikut ini pengelompokan uji laboratorium yang umum dilakukan mengikuti suatu standar uji dari ASTM, yaitu:

- Uji Indeks Properties (Kadar Air, Berat Jenis, Berat Isi, *Atterberg Limits*, *Grain Size Analysis*)
- Uji Kuat Geser Tanah (Uji Kuat Tekan Bebas, Uji Triaksial, Uji Geser Langsung)
- Uji Kompresibilitas (Uji Konsolidasi)
- Uji Permeabilitas
- Uji Kompaksi
- Uji CBR

## 6.1 Sampel Tanah

### 6.1.1 Perlakuan Sampel Tanah dari Lapangan ke Laboratorium

Cara perlakuan sampel tanah dari lapangan ke laboratorium dapat mengacu pada tabel di bawah:

Tabel 6.1 Perlakuan Sampel Tanah

Pekerjaan:					
Lokasi:					
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan		
1	Perlakuan Sampel Tanah	• Sampel tanah tertutup plastik	ya	tidak	
		• Sampel tanah disusun didalam peti yang terbuat dari kayu dengan tumpukan maksimum 4 buah	ya	tidak	
		• Bagian dasar peti diberi pelindung seperti gabus atau bahan lain untuk mengurangi getaran	ya	tidak	

### 6.1.2 Cara Mengambil dari Tabung untuk Sampel Uji di Laboratorium

Cara pengambilan sampel ini mengacu kepada Panduan Geoteknik (3 pengujian laboratorium geoteknik, 2001). Untuk mengeluarkan sampel dari tabungnya, prosedur berikut ini diusulkan untuk digunakan (dengan asumsi bahwa tabung telah disegel dengan lilin parafin atau campuran lilin parafin):

Tabel 6.2 Pemeriksaan Pengambilan Sampel

Pekerjaan:				
Lokasi:				
No	Pemeriksaan	Jenis Pemeriksaan	Hasil Pemeriksaan	
1	Pengambilan Tanah dari Tabung	•Segel lilin pada ujung atas sudah dibuka	ya	tidak
		• Jarak antara ujung tabung dengan sampel tanah sudah diukur dan dicatat	ya	tidak
		• Lilin pada ujung bawah tabung sudah dibuka	ya	tidak
		•Sudah diukur dan dicatat massa tabung dan tanah	ya	tidak
		• Sampel diletakkan pada alat pengeluar sampel vertikal (vertical extruder) dengan ujung atasnya terletak pada bagian paling atas	ya	tidak
		• Sampel dipotong sesuai dengan panjang yang dibutuhkan untuk pengujian	ya	tidak
		• Contoh yang telah dipotong diberi tanda	ya	tidak

## 6.2 Indeks Propertis

Sifat-sifat indeks (*index properties*) menunjukkan sifat-sifat fisis tanah yang mengindikasikan jenis dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat-sifat mekanis (*engineering properties*) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang serta permeabilitas tanah

### 6.2.1 Kadar Air (*Moisture Content*)

Kadar air ( *Moisture Content* ) adalah perbandingan berat air terkandung dalam contoh tanah atau agregat dengan berat kering tanah / agregat. Nilai kadar air biasanya dinyatakan dalam persen (%). Apabila satuan nilai kadar air tidak dinyatakan dalam persen, maka hasil pengujian dikalikan dengan 0.01. Pengujian kadar air bertujuan untuk mencari besarnya kadar air tanah yaitu perbandingan antara berat air dengan berat tanah kering (%).

ASTM D2216-92 menjelaskan suatu metode untuk menentukan kadar air tanah dan batuan di laboratorium. Metode alternatif untuk menentukan kadar air gambut dan tanah organik lainnya, diberikan pada ASTM D2974-87.

### 6.2.2 Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis tanah. Berat jenis (*specific gravity*) tanah adalah perbandingan antara berat isi butir tanah terhadap berat isi air pada temperatur 4°C dan tekanan 1.0 atmosfir. Pengujian dilakukan dengan menggunakan botol Erlenmeyer. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah. Pengujian ini diperlukan untuk perhitungan-perhitungan indeks tanah (*index properties*).

ASTM D854-92 mencakup penentuan berat jenis tanah yang lolos saringan No.4 (4.75 mm) dengan menggunakan labu gelas. Suatu metode tes untuk penentuan berat jenis dan penyerapan agregat kasar (material yang tertahan pada saringan 4.75 mm) dijelaskan pada ASTM C127.

### 6.2.3 Berat Isi (*Bulk Density*) dan Berat Isi Kering (*Dry Density*)

Pengujian berat isi bertujuan untuk mencari nilai perbandingan antara berat tanah per-satuan volume ( $t/m^3$ ). Pengujian ini dijelaskan dalam ASTM C-29.

Pengujian berat isi kering bertujuan untuk mengetahui nilai perbandingan antara berat tanah kering per-satuan volume ( $t/m^3$ ).

### 6.2.4 Uji Saringan (*Grain Size Analysis*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah dengan mencari persentase berat dari tiap-tiap ukuran butiran tanah. Uji saringan (*grain size analysis*) dilakukan untuk uji jenis tanah berbutir kasar, ditentukan dengan cara menyaring. Tanah benda uji disaring lewat satu set saringan standard. Berat tanah yang tertinggal dalam setiap saringan ditimbang. Persen terhadap berat komulatif tanah dihitung.

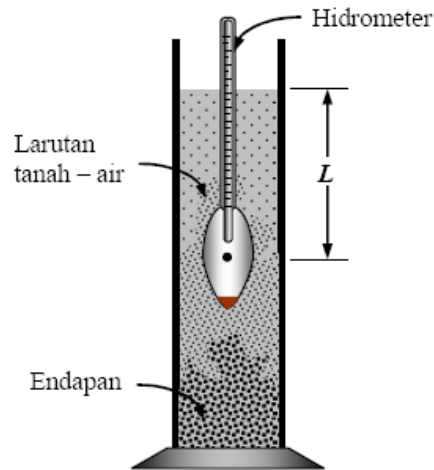
Tabel 6.3 Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butiran (ASTM)

No	Ukuran Butiran ( mm )	Jenis Tanah
1	< 0,0020	Clay (lempung)
2	0,0020 – 0,0074	Silt (lanau)
3	0,0074 – 4,7500	Sand (pasir)
4	> 4,7500	Gravel (kerikil)

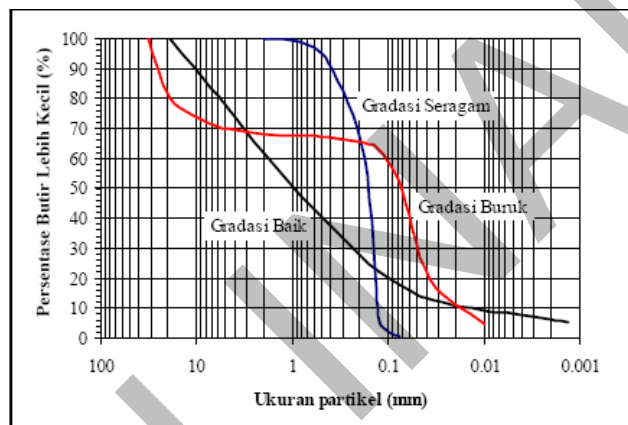
### 6.2.5 Uji Hidrometer (*Hydrometer Test*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui distribusi ukuran butiran tanah dengan mencari persentase berat dari tiap-tiap ukuran butiran tanah.

Uji hidrometer (*hydrometer test*) dilakukan untuk uji tanah berbutir halus, ditentukan dengan kecepatan mengendap butiran pada larutan suspensi (sedimentasi) didasarkan hukum stokes. Untuk tanah dengan butiran yang lebih besar akan mengendap lebih cepat sedangkan butiran yang lebih kecil akan mengendap lebih lama di dalam suspensi.



Gambar 6.1 Uji Hidrometer



Gambar 6.2 Bentuk-bentuk kurva distribusi ukuran partikel

### 6.2.6 Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limits*)

Pengujian Batas-batas Atterberg bertujuan untuk mencari nilai perbandingan berat air yang mengisi ruang pori dengan berat tanah kering pada kondisi batas cair/plastis. Penentuan batas-batas Atterberg meliputi batas susut (*shrinkage limit*), batas plastis (*plastic limit*), dan batas cair (*liquid limit*) serta indeks plastisitas (*plasticity index*).

Batas susut (*shrinkage limit*) adalah batas kadar air dimana tanah dengan kadar air di bawah nilai tersebut tidak menyusut lagi (tidak berubah volume).

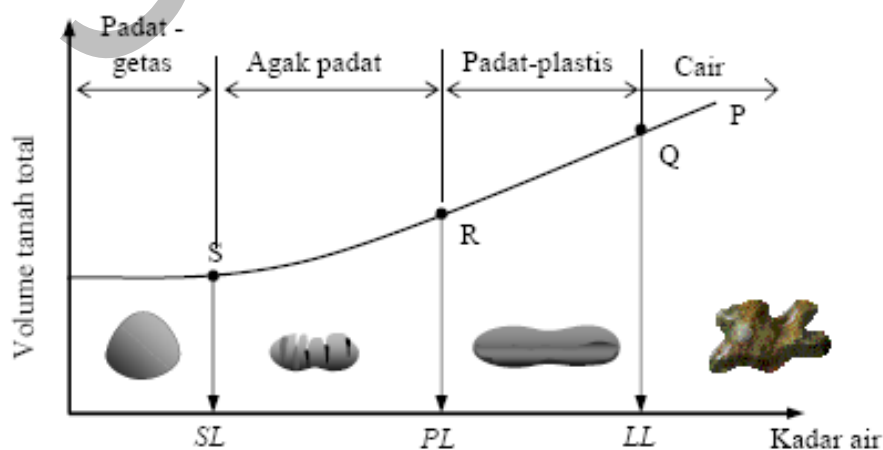
Batas plastis (*plastic limit*) adalah kadar air terendah dimana tanah mulai bersifat pastis. Dalam hal ini sifat plastis ditentukan berdasarkan kondisi dimana tanah yang digulung dengan telapak tangan, di atas kaca mulai retak setelah mencapai diameter 3.0 mm.

Batas cair (*liquid limit*) adalah kadar air tertentu dimana perilaku berubah dari kondisi plastis ke cair. Pada kadar air tersebut tanah mempunyai kuat geser yang terendah.

Dari hasil pengujian ini dapat ditetapkan klasifikasi tanah berbutir halus. Klasifikasi yang umum digunakan adalah USCS (Unified Soil Classification System). Berdasarkan kadar airnya, konsistensi atau fase campuran tanah-air dinyatakan sebagai cair, plastis, semi-padat atau padat, seperti diilustrasikan pada Gambar 6.4. Transisi dari satu keadaan ke lainnya sifatnya bertahap dan batas antara fase telah ditentukan sebagai: batas cair (LL) adalah kadar air batas antara keadaan cair dan plastis dan batas plastis (PL) adalah kadar air batas antara keadaan plastis dan semi-padat; batas susut (SL) adalah kadar air di bawah PL di mana penyusutan tanah sudah berhenti dengan pengeringan lebih lanjut. Indeks plastisitas (PI) adalah perbedaan angka sebagai LL dan PL. Di laboratorium, pengujian LL dan PL dilakukan pada bagian tanah yang lolos saringan No. 40

Fase	KEADAAN PADAT	KEADAAN SEMI PADAT	KEADAAN PLASTIS	KEADAAN CAIR	SUSPENSI
Air	← Kadar air berkurang →				
Batas-batas	Tanah kering	Batas susut SL	Batas plastis PL Batas Lengket	Batas Cair LL	
			Indeks Plastisitas PI		
Susut	Volume Konstan	← Volume berkurang →			
Kondisi	Keras hingga kaku	Dapat dikerjakan	Lengket	Bubur	Air tertahan suspensi
Kuat Geser (kN/m <sup>2</sup> )	← Kuat geser meningkat →			Dapat diabaikan hingga nol	
		( ~ 170 )	( ~ 1,7 )		
Kadar Air	O	SL	PL	LL	
			PI		

Gambar 6.3 Fase Tanah dan Batas-batas Atterberg (Head 1984)



Gambar 6.4 Variasi volume dan kadar air pada Batas-batas Atterberg



- **Uji Batas Cair (*Liquid Limit*)**

Metode ASTM untuk pengujian LL dan PL tanah, yang dijelaskan pada ASTM D4318-93, menggunakan alat Casagrande untuk menentukan LL. Uji konus jatuh (*falling cone test*) adalah metode yang disarankan di banyak negara tetapi belum digunakan, untuk pengujian rutin, di Indonesia.

- **Uji Batas Plastis (*Plastic Limit*)**

Uji PL dilakukan pada 20 gram contoh tanah yang dipilih dari material yang dipersiapkan untuk pengujian LL. Kadar air contoh dikurangi sampai mencapai suatu konsistensi dimana contoh tersebut dapat digeleng tanpa lengket pada tangan. Benda uji seberat 1,5 sampai 2,0 gram, dipilih dari 20 gram massa dan dibentuk menjadi suatu massa berbentuk bulat telur (*ellips*). Massa ini digeleng menjadi gelengan yang memiliki diameter yang sama pada keseluruhan panjangnya dan penggelengan diteruskan hingga diameter gelengan mencapai 3.2 mm, yang memakan waktu kurang dari 2 menit. PL dicapai selama percobaan yang berulang-ulang sampai contoh lama kelamaan mengering; PL adalah kadar air dimana tanah mulai remuk jika digeleng menjadi 3,2 mm.

- **Uji Batas Susut (*Shrinkage Limit*)**

Metode ASTM untuk menentukan batas susut (SL) tanah dijelaskan pada ASTM D4943-89 (Standard Test Method for Shrinkage Factors of Soil by the Wax Method) dan ASTM D427-93 (Test Method for Shrinkage Factors of Soil by the Mercury Method). ‘Metode lilin’ (*wax method*) sebagai alternatif dari ‘metode merkuri’ (*mercury method*) yang perlu dikuatirkan karena merkuri merupakan suatu zat yang berbahaya.

### **6.3 Uji Kuat Geser Tanah**

#### **6.3.1 Uji Kuat Tekan Bebas (*Unconfined Compression*)**

Pemeriksaan/pengujian kuat tekan bebas bertujuan untuk mendapatkan parameter nilai kuat tekan bebas (*unconfined compression strength*) khususnya untuk tanah kohesif atau lempung. Kuat tekan bebas ( $q_u$ ) adalah harga tegangan aksial maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji silindris sebelah mengalami keruntuhan geser. Dari kuat tekan bebas dapat diketahui kekuatan geser undrained ( $C_u$ ) dan derajat kepekaan (*degree of sensitivity*)

Pada material tanah, parameter yang perlu ditinjau adalah kekuatan geser tanahnya. Pengetahuan mengenai kekuatan geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berkaitan dengan stabilisasi tanah. Salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui parameter kuat geser tanah adalah uji kuat tekan bebas. Yang dimaksud dengan kekuatan tekan bebas adalah besarnya beban

aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada saat regangan aksial mencapai 20%. Percobaan kuat tekan bebas di laboratorium dilakukan pada sampel tanah dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*). Tekanan aksial yang terjadi pada tanah dapat ditulis dalam persamaan berikut: (2.1) dengan :  $P$  = beban yang bekerja  $A$  = luas penampang tanah Sedangkan untuk kuat geser tanahnya dapat dituliskan dalam persamaan berikut: (2.2) dengan:  $c$  = kekuatan geser *undrained* (*undrained shear strength*)  $q_u$  = *unconfined compressive strength*.

### 6.3.2 Uji Triaksial (*Triaxial Unconsolidated Undrained*)

Pada uji tekan triaksial konvensional, benda uji silinder dibungkus dengan membran karet dan diletakkan dalam sel triaksial dimana benda uji diberi tekanan fluida. Beban aksial kemudian diberikan dan ditingkatkan, sampai keruntuhan terjadi. Pada kondisi tersebut, tegangan minor dan pertengahan, masing-masing  $\sigma_3$  dan  $\sigma_2$ , sama dengan tekanan fluida; tegangan utama (mayor),  $\sigma_1$ , diberikan oleh tekanan fluida dan tegangan aksial yang diberikan oleh piston beban. Tegangan deviator,  $(\sigma_1 - \sigma_3)$ , adalah perbedaan antara tegangan utama mayor dan minor. Kondisi drainase selama pemberian tekanan sel dan beban aksial, masing-masing, menjadi dasar klasifikasi umum uji tekan triaksial sebagai berikut:

- Tak Terkonsolidasi dan Tak Terdrainase, UU. Pada tes ini, suatu tekanan sel diberikan pada benda uji dan tegangan deviator atau geser diberikan segera setelah tekanan sel stabil. Drainase tidak diizinkan selama pemberian tekanan sel (tegangan keliling) dan drainase tidak diizinkan selama pemberian tegangan deviator. ASTM D2850 menjelaskan metode standar untuk menentukan kuat tekan tak terkonsolidasi tak terdrainase tanah kohesif, pada uji tekan triaksial.
- Terkonsolidasi-Tak Terdrainase, CU. Pada pengujian ini, drainase diizinkan selama pemberian tegangan keliling dan spesimen sepenuhnya terkonsolidasi pada tegangan ini. Drainase tidak diizinkan selama pemberian tegangan deviator. Metode standar untuk melakukan uji tekan triaksial terkonsolidasi-tak terdrainase pada tanah kohesif dijelaskan pada ASTM D4767.
- Terkonsolidasi-Terdrainase, CD. Pada pengujian ini, drainase diizinkan baik selama pemberian tegangan keliling maupun tegangan deviator, sehingga benda uji terkonsolidasi pada tegangan keliling dan tekanan pori berlebih tidak terbentuk selama penggeseran.

### 6.3.3 Uji Geser Langsung *Unconsolidated Undrained (Direct Shear)*

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kekuatan geser tanah, dengan melakukan percobaan geser langsung UU. Dengan mengubah tegangan aksial/normal pada beberapa contoh tanah, maka akan diperoleh besarnya tegangan geser. Hasil uji geser langsung dapat digunakan untuk analisis kestabilan dalam bidang geoteknik, di antaranya untuk analisis stabilitas lereng, daya dukung pondasi, analisis dinding penahan tanah, dan lain-lain.

#### 6.4 Uji Konsolidasi (*Consolidation Test*) ASTM S-2435

Jika suatu beban diberikan pada suatu lapisan lempung jenuh, akan timbul tiga jenis penurunan:

- penurunan awal,
- penurunan konsolidasi,
- pemampatan sekunder (konsolidasi).

Penurunan konsolidasi terjadi sebagai akibat perubahan volume yang diakibatkan oleh disipasi pori berlebih; pemampatan sekunder terjadi sebagai akibat perubahan volume pada tegangan efektif konstan, yaitu setelah disipasi tekanan pori berlebih selesai. Pengujian laboratorium yang biasanya digunakan untuk mengevaluasi penurunan konsolidasi dan pemampatan sekunder adalah pengujian konsolidasi satu dimensi atau pengujian odometer. Uji konsolidasi bertujuan untuk menentukan sifat kemampatan tanah dan karakteristik konsolidasinya yang merupakan fungsi dari permeabilitas tanah. Sifat kemampatan tanah dinyatakan dengan koefisien kemampatan volume ( $m_v$ ) atau dengan indeks kompresi ( $C_c$ ), sedangkan karakteristik konsolidasi dinyatakan oleh koefisien konsolidasi ( $c_v$ ) yang menggambarkan kecepatan kompresi tanah terhadap waktu.

Hasil uji konsolidasi ini dapat digunakan untuk menghitung penurunan tanah akibat proses konsolidasi dan secara tidak langsung dapat digunakan untuk menentukan permeabilitas tanah ( $k$ ). Selain itu, dapat pula ditentukan kecepatan penurunan (*settlement rate*). Pengujian ini masuk dalam kategori stress controlled.

ASTM D2435-90 menjelaskan suatu metode pengujian standar untuk menentukan besar dan kecepatan konsolidasi tanah yang ditahan secara lateral dan drainase secara aksial sementara diberi beban tegangan terkontrol secara bertahap. ASTM D4186-89 menjelaskan prosedur untuk menentukan sifat tanah tersebut bila digunakan pembebanan regangan terkontrol.

#### 6.5 Uji Permeabilitas (*Premeability Test*)

Sifat tanah mendasar yang berkaitan dengan aliran fluida adalah permeabilitas. Pada kasus tanah yang lolos air, viskositas dan berat isi adalah satu-satunya variabel fluida yang mempengaruhi permeabilitas. Variabel lebih lanjut yang dapat mempunyai pengaruh yang besar terhadap permeabilitas tanah berbutir halus yang relatif kedap air adalah polaritas cairan.

Karakteristik tanah yang mempengaruhi permeabilitas adalah:

- ukuran partikel,
- angka pori,
- komposisi,
- fabrik,
- derajat kejenuhan.

Karena karakteristik ini saling berhubungan, sulit untuk membedakan pengaruh masing-masing secara terpisah. Pengujian yang digunakan di laboratorium untuk mengukur permeabilitas meliputi:

- permeameter tinggi tekan tetap,

- parameter tinggi tekan turun,
- pengukuran langsung atau tidak langsung selama pengujian odometer, sel konsolidasi hidrolik.

## 6.6 Uji Kompaksi (*Compaction Test*) Astm D-1883

Uji kompaksi ini bertujuan untuk mendapatkan kadar air optimum (*optimum moisture content* – OMC) dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*) pada suatu proses pemadatan. Kepadatan tanah biasanya dinilai dengan menentukan berat isi keringnya ( $\gamma_{dry}$ ). Kadar air optimum ditentukan dengan melakukan percobaan pemadatan di laboratorium. Hasil percobaan ini digunakan untuk menentukan syarat-syarat yang harus dipenuhi pada waktu pemadatan di lapangan yang dinyatakan dalam bentuk kurva kompaksi berupa grafik hubungan antara berat isi kering dengan kadar air.

Pemadatan dapat dikatakan sebagai proses pengeluaran udara dari pori-pori tanah dengan salah satu cara mekanis. Cara mekanis yang digunakan dilapangan biasanya dengan menggilas, sedangkan di laboratorium dengan cara menumbuk atau memukul. Daya pemadatan ini tergantung pada kadar air, meskipun digunakan energi yang sama, nilai kepadatan yang akan diperoleh akan berbeda-beda. Pada kadar air yang cukup rendah tanah sukar dipadatkan, sedangkan pada kadar air yang cukup tinggi nilai kepadatannya akan menurun, sampai suatu kadar air tinggi sekali sehingga air tidak dapat dikeluarkan dengan pemadatan.

Pemadatan dengan kadar air yang berbeda-beda akan didapat nilai kepadatan yang berbeda pula, sehingga perlu dicari kadar air tertentu dengan keadaan yang paling padat (angka pori yang paling rendah). Kadar air dimana tanah mencapai keadaan yang paling padat disebut kadar air optimum. Untuk menentukan kadar air optimum ini biasanya dibuat grafik hubungan antara kadar air dan berat isi kering. Berat isi kering ini digunakan untuk menentukan kadar air optimum dimana mencapai keadaan paling padat, dapat dilakukan:

1. Percobaan pemadatan di lapangan.
2. Percobaan pemadatan di laboratorium.

Percobaan pemadatan di laboratorium dapat dilakukan dengan dua cara:

1. Percobaan pemadatan standar (*standart compaction test*).
2. Percobaan pemadatan modified (*modified compaction test*).

Dengan nilai kadar air optimum yang didapat dari percobaan ini, tanah yang dipadatkan akan mempunyai:

- Kekuatan yang lebih besar.
- Kompresibilitas dan daya rembesan yang lebih kecil.

- Ketahanan yang relatif lebih besar terhadap pengaruh air.

### 6.7 Uji CBR (CBR Test) ASTM D-698 (STANDART PROCTOR)

CBR (*California Bearing Ratio*) adalah rasio dari gaya perlawanan penetrasi (*penetration resistance*) dari tanah pada sebuah piston yang ditekan secara kontinu terhadap gaya perlawanan penetrasi serupa pada contoh tanah standar berupa batu pecah di California. Rasio tersebut diambil pada penetrasi 2.5 dan 5.0 mm (0.1 dan 0.2 inch) dengan ketentuan angka tertinggi yang digunakan. Tujuan pengujian ini adalah untuk menilai kekuatan tanah dasar yang dikompaksi di laboratorium yang akan digunakan dalam perancangan perkerasan. Hasil percobaan dinyatakan sebagai nilai CBR (dalam %) yang nantinya digunakan untuk menentukan tebal perkerasan.

### 6.8 Pengujian Laboratorium Untuk Jembatan

Banyaknya pengujian laboratorium akan bervariasi untuk setiap proyek. Meskipun demikian, pengujian klasifikasi secara lengkap seharusnya dilaksanakan pada semua proyek.

Berikut ini jenis pengujian laboratorium yang umum diperlukan dari masing-masing bagian jembatan:

Tabel 6.4 Tabel pengujian Laboratorium untuk Bagian-Bagian Jembatan

	Pengujian Laboratorium			
	Pondasi	DPT	Oprit	
			Tanah dasar	Lereng Timbunan
Indeks Properties (kadar air, berat isi tanah, berat jenis tanah, batas-batas atterberg, uji saringan dan hidrometer)	+	+	+	+
Uji kuat tekan bebas	±	±	±	±
Uji Triaksial (Uji UU, uji CU, uji CD)	+	+	+	+
Uji geser langsung	±	±	±	+
Uji Konsolidasi	+	+	+	-
Uji Permeabilitas	±	±	±	-
Uji Kompaksi	-	-	-	+
Uji CBR	-	-	+	±

Keterangan :

(+) = Disarankan dilakukan

(±) = Menyesuaikan kebutuhan

(-) = Boleh tidak dilakukan

## 7. Pondasi Tiang Pancang

### 7.1 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang (*piled foundation*) merupakan bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan mentransfer (menyalurkan) beban dari struktur atas ke tanah penunjang yang terletak pada kedalaman tertentu.

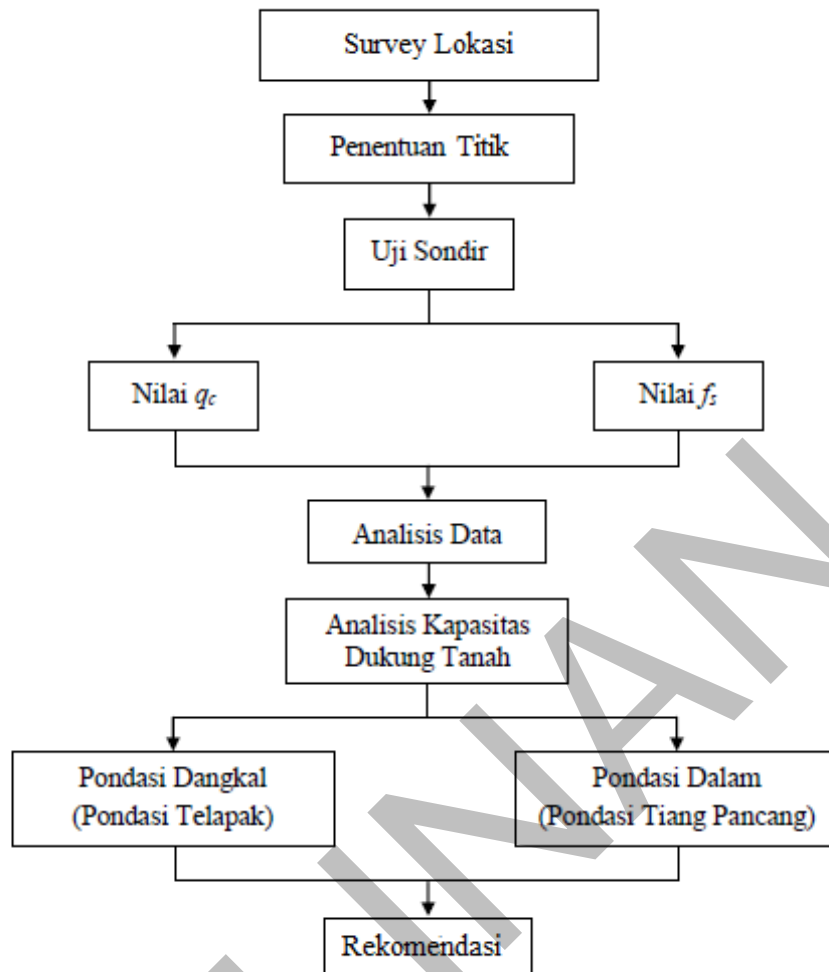
Tiang pancang bentuknya panjang dan langsing yang menyalurkan beban ke tanah yang lebih dalam. Bahan utama dari tiang adalah kayu, baja (*steel*), dan beton. Tiang pancang yang terbuat dari bahan ini adalah dipukul, di bor atau di dongkrak ke dalam tanah dan dihubungkan dengan Pile cap (*poer*). Tergantung juga pada tipe tanah, material dan karakteristik penyebaran beban tiang pancang di klasifikasikan berbeda-beda.

Tiang yang terbuat dari kayu (*timber pile*) dipasang dengan dipukul ke dalam tanah dengan tangan atau lubang yang digali dan diisi dengan pasir dan batu. Pada tahun 1740, Christoffoer Polhem menemukan peralatan pile driving yang mana menyerupai mekanisme Pile driving saat ini. Tiang baja (*Steel pile*) sudah digunakan selama 1800 dan tiang beton (*concrete pile*) sejak 1900. Revolusi industri membawa perubahan yang penting pada sistem pile driving melalui penemuan mesin uap dan mesin diesel. Lebih lagi baru-baru ini, meningkatnya permintaan akan rumah dan konstruksi memaksa para pengembang memanfaatkan tanah-tanah yang mempunyai karakteristik yang kurang bagus. Hal ini membuat pengembangan dan peningkatan sistem Pile driving. Saat ini banyak teknik-teknik instalasi tiang pancang bermunculan. Seperti tipe pondasi yang lainnya, tujuan dari pondasi tiang adalah:

- a. untuk menyalurkan beban pondasi ke tanah keras
- b. untuk menahan beban vertikal, lateral, dan beban *uplift*

Struktur yang menggunakan pondasi tiang pancang apabila tanah dasar tidak mempunyai kapasitas daya pikul yang memadai. Kalau hasil pemeriksaan tanah menunjukkan bahwa tanah dangkal tidak stabil & kurang keras atau apabila besarnya hasil estimasi penurunan tidak dapat diterima pondasi tiang pancang dapat menjadi bahan pertimbangan. Lebih jauh lagi, estimasi biaya dapat menjadi indikator bahwa pondasi tiang pancang biayanya lebih murah daripada jenis pondasi yang lain dibandingkan dengan biaya perbaikan tanah.

Dalam kasus konstruksi berat, seperti halnya bahwa kapasitas daya pikul dari tanah dangkal tidak akan memuaskan, dan konstruksi seharusnya dibangun di atas pondasi tiang. Tiang pancang juga digunakan untuk kondisi tanah yang normal untuk menahan beban horizontal. Tiang pancang merupakan metode yang tepat untuk pekerjaan di atas air, seperti jetty atau dermaga.



Gambar 7.1 Diagram Alir Pemilihan Pondasi