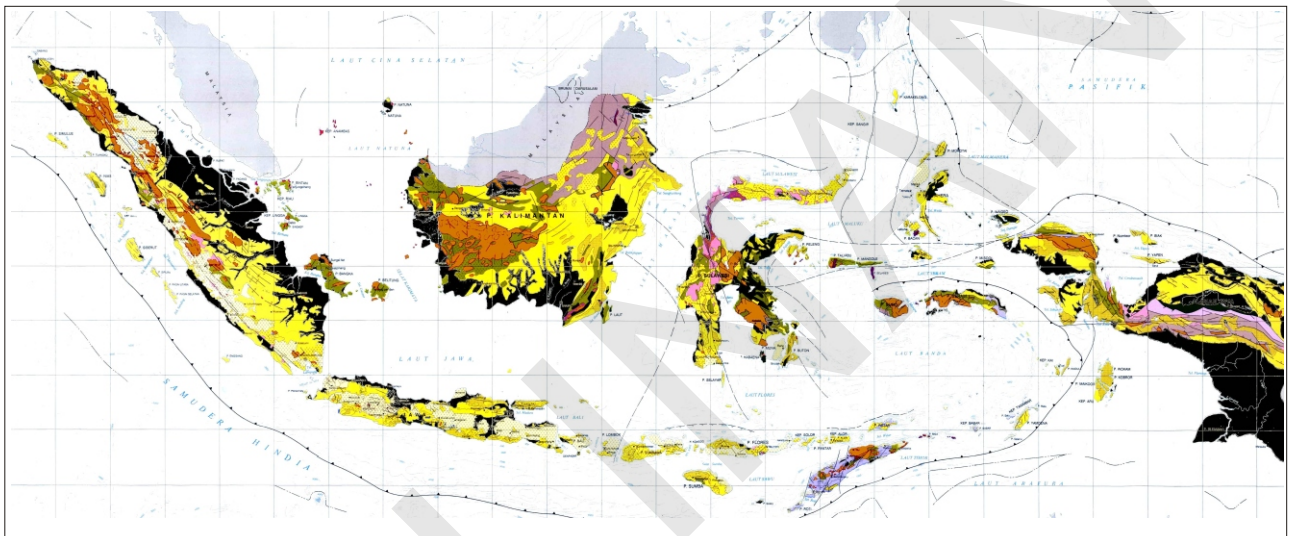


## Timbunan Jalan pada Tanah Lunak



# Panduan Geoteknik 3

## Penyelidikan Tanah Lunak Pengujian Laboratorium



**Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah**

## Latar Belakang

Dari pertengahan tahun 1980-an hingga 1997 perekonomian Indonesia mengalami tingkat pertumbuhan lebih dari 6% per tahun. Dengan tingkat pertumbuhan seperti ini, dibutuhkan akan adanya pengembangan sistem transportasi yang andal yang berbasis pada transportasi darat, utamanya jalan raya. Banyak daerah yang lebih mudah dijangkau yang umumnya merupakan kawasan perkebunan dan industri, terletak pada dataran rendah dimana dijumpai tanah lunak, sehingga kebutuhan akan pengembangan suatu metode konstruksi yang andal membutuhkan pengembangan suatu teknik desain dan konstruksi yang baru. Tanah lunak ini diperkirakan meliputi sekitar 20 juta hektar atau sekitar 10 persen dari luas total daratan Indonesia dan ditemukan terutama di daerah sekitar pantai.

Pelapukan tanah yang terjadi pada kondisi tropis berbeda dengan yang terjadi pada daerah dengan iklim sedang, sehingga masing-masing tipe tanah dengan karakteristik yang berbeda tersebut membutuhkan penanganan yang berbeda pula dalam mengatasi permasalahan konstruksi. Penerapan berbagai metode penanggulangan yang telah dikembangkan untuk daerah dengan iklim sedang tidak akan selalu cocok untuk diterapkan pada tanah beriklim tropis. Oleh karenanya perlu dilakukan suatu evaluasi terhadap teknologi yang telah dikembangkan untuk daerah dengan iklim sedang tersebut sebelum diterapkan di Indonesia dan untuk itu dikembangkan suatu teknologi yang lebih cocok melalui upaya-upaya penelitian setempat.

Panduan Geoteknik yang dibuat pada proyek *Indonesian Geotechnical Materials and Construction (IGMC)* ini dirancang sebagai sebuah studi terhadap tanah lunak dan tanah lapukan tropis Indonesia yang diharapkan dapat menghasilkan panduan geoteknik dan konstruksi yang cocok untuk kondisi di Indonesia. Diharapkan pula, dengan pengembangan sumber daya manusia dan peralatan yang tepat, dapat meningkatkan kemampuan penelitian dalam bidang geoteknik di Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Proyek ini merupakan bagian dari kerangka penelitian pembangunan jalan di atas tanah lunak yang dimulai sejak permulaan tahun 1990.

## Tujuan

Penerapan langsung mekanika tanah dan batuan “klasik” yang dikembangkan di daerah beriklim sedang akan tidak serta merta cocok untuk menyelesaikan permasalahan yang ada di daerah tropis. Sifat-sifat alami dari material bumi daerah tropis memerlukan pengujian dan analisis yang berbeda dengan material di daerah beriklim sedang. Prinsip yang sama berlaku untuk teknik desain dan konstruksi. Oleh karenanya dibutuhkan fasilitas penelitian yang khusus untuk melakukan penyelidikan, bila praktek-praktek desain dan konstruksi yang ada ingin ditingkatkan agar jalan yang dibangun di atas tanah lunak dapat memberikan tingkat pelayanan yang disyaratkan.

Melanjutkan Tahap 1 dari proyek yang dilaksanakan pada tahun 1997-8, Tahap 2 mendapat tugas untuk mempersiapkan edisi pertama dari seri Panduan Geoteknik ini, yang berhubungan dengan tanah lunak.

Disadari bahwa masih banyak hal yang harus dipelajari dan dicapai mengenai tanah lunak Indonesia untuk dapat menghasilkan suatu desain pembangunan jalan yang lebih ekonomis. Oleh karenanya diharapkan berdasarkan pengalaman selama penggunaan edisi pertama Panduan Geoteknik ini, akan diperoleh suatu umpan balik yang berharga untuk meningkatkan dan memperluas panduan ini di masa mendatang.

Program kegiatan ini dilaksanakan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi bersama Tim Konsultan. Proyek ini seluruhnya didanai oleh pinjaman Pemerintah Indonesia dari *International Bank for Reconstruction and Development, Highway Sector Investment Programme 2, Loan Number 3712-IND*.

*Sampul depan menunjukkan Peta Geologi Indonesia. Areal tanah lunak ditunjukkan dengan warna hitam.*

**Panduan Geoteknik Indonesia**  
Timbunan Jalan pada Tanah Lunak

**Panduan Geoteknik 3**  
**Penyelidikan Tanah Lunak**  
**Pengujian Laboratorium**

Edisi Pertama Bahasa Indonesia © Juli 2002

**WSP International**

Kerja sama dengan **PT Virama Karya**  
**PT Trikarla Cipta**

# Prakata

Panduan Geoteknik yang dibuat pada proyek *Indonesian Geotechnical Materials and Construction* (IGMC) ini dirancang sebagai sebuah studi terhadap tanah lunak dan tanah lapukan tropis Indonesia yang diharapkan dapat menghasilkan panduan geoteknik dan kontruksi yang cocok untuk kondisi di Indonesia. Diharapkan pula, dengan pengembangan sumber daya manusia dan peralatan yang tepat, dapat meningkatkan kemampuan penelitian dalam bidang geoteknik di Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Proyek ini merupakan bagian dari kerangka penelitian pembangunan jalan di atas tanah lunak yang dimulai sejak permulaan tahun 1990.

Melanjutkan Tahap 1 dari proyek yang dilaksanakan pada tahun 1997-1998, Tahap 2 mendapat tugas untuk mempersiapkan edisi pertama dari seri Panduan Geoteknik ini, yang berhubungan dengan tanah lunak.

Disadari bahwa masih banyak hal yang harus dipelajari dan dicapai mengenai tanah lunak Indonesia untuk dapat menghasilkan suatu desain pembangunan jalan yang lebih ekonomis. Oleh karenanya diharapkan berdasarkan pengalaman selama penggunaan edisi pertama Panduan Geoteknik ini, akan diperoleh suatu umpan balik yang berharga untuk meningkatkan dan memperluas panduan ini di masa mendatang.

Penyiapan Draf Panduan Geoteknik ini dilakukan oleh Tim Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung, melalui Kontrak Proyek Tahap 2 *Indonesian Geotechnical Materials and Construction Guides* yang seluruhnya didanai oleh pinjaman Pemerintah Indonesia dari *International Bank for Reconstruction and Development, Highway Sector Investment Programme 2, Loan Number 3712-IND*, bekerjasama dengan Tim Konsultan Proyek yang terdiri atas WSP International bekerjasama dengan PT Virama Karya dan PT Trikarla Cipta. Kegiatan tersebut dilaksanakan antara bulan Nopember 1999 dan Oktober 2001.

Pada tanggal 21-23 Agustus 2001 bertempat di Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung, dilakukan Loka Karya GeoGuides dengan mengundang beberapa Pengkaji Eksternal dari kalangan Perguruan Tinggi, Organisasi Profesi dan Praktisi untuk meminta masukan, usul dan saran konstruktif untuk kesempurnaan materi dan isi dari Panduan Geoteknik ini. Selanjutnya dari hasil Loka Karya tersebut dilakukan penyempurnaan kembali oleh Tim Konsultan Proyek berdasarkan masukan, usul dan saran yang didapat selama kegiatan tersebut.

Untuk mendapatkan pengakuan secara formal dari Badan Standardisasi Nasional (BSN), maka pada tanggal 26-27 Februari 2002, bertempat di Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung, dilakukan Sidang Konsensus Panduan Geoteknik yang dihadiri oleh kalangan Perguruan Tinggi, Organisasi Profesi dan Praktisi untuk menyepakati dan menyetujui isi dan materi dari Panduan Geoteknik secara teknis dengan mengacu pada Format Standar yang telah ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional. Selama berlangsungnya kegiatan tersebut, diperoleh masukan dan perubahan untuk menyempurnakan dan menyeragamkan format dari masing-masing Panduan serta konsistensi pemakaian istilah teknik yang digunakan dengan mengacu pada istilah-istilah teknik yang telah umum digunakan dalam dunia kegeoteknikan berdasarkan SNI, Pedoman Teknik maupun Standar yang telah dipublikasikan, dengan tanpa melupakan pedoman ataupun kaedah penyerapan istilah sesuai dengan kaedah umum bahasa Indonesia yang baik dan benar.

Kegiatan penyempurnaan Panduan Geoteknik tersebut dilakukan oleh Pihak Konsultan Proyek selama satu bulan dan selesai pada awal April 2002.

Selama proses penyusunannya, sejak penulisan Draf hingga penyusunan akhir Edisi Pertama dari Panduan Geoteknik ini pada April 2002, Tim Penyusun telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak seperti dari kalangan Perguruan Tinggi (antara lain ITB, UI, UGM, UNPAR), Organisasi Profesi (antara lain HATTI dan HPJI) serta dari kalangan Praktisi dan Institusi Riset lainnya (antara lain Puslitbang Permukiman, Puslitbang Pengairan, dan Puslitbang Geologi).

# Pendahuluan

Tanah lunak dalam Panduan ini meliputi lempung inorganik (lempung bukan organik), lempung organik dan gambut.

Tanah jenis ini terdapat pada areal lebih dari 20 juta hektar, lebih dari 10 % dari tanah daratan Indonesia.

Pada masa lalu, banyak proyek mengalami penundaan atau keterlambatan, memerlukan tambahan biaya yang besar, membutuhkan biaya perawatan dan pemeliharaan yang tinggi atau mengalami kegagalan, yang diakibatkan oleh adanya tanah lunak ini.

## Ruang Lingkup

Panduan Geoteknik ini dan seri lainnya merupakan pedoman bagi para praktisi<sup>1</sup> di lapangan dengan maksud memberikan panduan dan petunjuk dalam desain dan pelaksanaan konstruksi jalan di atas tanah lunak. Berbagai panduan yang dibuat, sangat cocok untuk diterapkan dalam desain berbagai tipe kelas jalan, mulai dari Jalan Nasional hingga Jalan Kabupaten. Panduan-panduan disajikan untuk kelompok-kelompok praktisi, sebagai berikut:

### Para Manajer Proyek

Termasuk pihak-pihak yang terlibat dalam proses perencanaan, pembiayaan dan manajemen proyek.

*Dalam Panduan ini dijelaskan mengapa pada lokasi tanah lunak diperlukan sebuah penyelidikan khusus, waktu untuk melakukan penyelidikan dan pertimbangan terhadap pembiayaan secara khusus untuk melaksanakan penyelidikan yang memadai serta interpretasi yang tepat.*

---

<sup>1</sup> Dalam proses penterjemahan Panduan ini, telah diterjemahkan sejumlah istilah teknik yang digunakan yang dicantumkan sebagai referensi pada bagian akhir setiap Panduan serta pada CD Panduan Geoteknik. Sebagai tambahan, untuk istilah-istilah teknik yang belum umum digunakan, istilah dalam bahasa Inggrisnya tetap dicantumkan berdampingan dengan kata yang bersangkutan dalam tanda kurung pada bagian awal penggunaannya saja.

## **Para Desainer**

*Panduan ini menjelaskan bagaimana lokasi tanah lunak harus diidentifikasi, prosedur-prosedur yang harus diterapkan dalam penyelidikan, dan prosedur desain dan pelaksanaan yang harus diikuti. Panduan ini juga mengarahkan bilamana informasi yang didapatkan tersebut memerlukan masukan dari spesialis/ahli yang telah berpengalaman.*

## **Para Spesialis Geoteknik**

*Para spesialis geoteknik yang berpengalaman dalam konstruksi jalan di atas tanah lunakpun, akan dapat memanfaatkan Panduan ini untuk mendapatkan rangkuman prosedur-prosedur yang dapat digunakan dan diterapkan pada proyek-proyek yang lebih kompleks dimana mereka terlibat secara langsung.*

Walaupun panduan-panduan ini hanya diperuntukkan untuk jalan di atas tanah lunak, para perekayasa yang menangani jalan pada tipe tanah dan bangunan sipil tipe lainnya akan mendapatkan informasi yang sangat bermanfaat dalam menghadapi permasalahan yang serupa.

## **Tujuan dari Panduan**

### **Panduan Geoteknik 1: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak**

Panduan ini memberikan informasi untuk:

- Memahami perbedaan tipe-tipe tanah lunak yang ditemukan di Indonesia dan bagaimana hubungannya dengan konteks regional maupun global
- Membuat penilaian awal akan segala kemungkinan dimana tanah-tanah tersebut akan ditemukan pada lokasi-lokasi tertentu
- Mengidentifikasi keberadaan tanah lunak, sehingga prosedur-prosedur yang disebutkan dalam Panduan Geoteknik 2 hingga 4 perlu diterapkan dalam proyek tersebut.



## **Panduan Geoteknik 2: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Penyelidikan Tanah Lunak: Desain dan Pekerjaan Lapangan**

Panduan ini menjelaskan prosedur-prosedur yang harus diterapkan dalam:

- Studi awal untuk mengumpulkan informasi-informasi yang ada
- Informasi-informasi yang dibutuhkan dalam kegiatan proyek pembangunan jalan sebelum merencanakan penyelidikan lapangan
- Menentukan tipe-tipe penyelidikan lapangan serta pengujian laboratorium yang akan dilakukan
- Prosedur mendesain penyelidikan lapangan
- Persyaratan-persyaratan khusus untuk melaksanakan pekerjaan-pekerjaan tertentu pada tanah lunak, sebagaimana juga telah dikemukakan pada manual-manual lainnya untuk keperluan pekerjaan penyelidikan lapangan yang sifatnya rutin
- Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi untuk pelaporan dari hasil-hasil pekerjaan yang telah dilakukan
- Ceklis untuk meyakinkan bahwa prosedur-prosedur yang tercantum dalam Panduan ini telah diikuti
- Prosedur-prosedur yang harus dilaksanakan jika penyelidikan lapangan yang dilakukan tidak mengikuti rekomendasi yang diberikan oleh Panduan ini.

## **Panduan Geoteknik 3: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Penyelidikan Tanah Lunak: Pengujian Laboratorium**

Panduan ini merumuskan:

- Ceklis untuk mengevaluasi kemampuan laboratorium pengujian geoteknik dan kriteria pemilihan laboratorium
- Faktor-faktor yang berpengaruh pada perencanaan dan pengembangan program pengujian laboratorium
- Rangkuman prosedur pengujian standar terutama acuan pengujian lempung organik lunak dan gambut serta interpretasi hasil pengujiannya
- Prosedur untuk mengurangi sekecil mungkin gangguan pada contoh tanah selama penanganan dan penyiapan benda uji; interpretasi data pengujian untuk mengevaluasi kualitas contoh
- Prosedur untuk mengidentifikasi dan menjelaskan struktur dan fabrik tanah
- Persyaratan-persyaratan pelaporan.



#### **Panduan Geoteknik 4: Timbunan Jalan pada Tanah Lunak: Desain dan Konstruksi**

Panduan ini merumuskan:

- Metode-metode yang harus diterapkan untuk menguji keabsahan data penyelidikan
- Prosedur untuk mendapatkan parameter-parameter
- Proses pengambilan keputusan dalam memilih teknik dan metode yang efektif dan memuaskan
- Metode-metode yang akan digunakan dalam menganalisis stabilitas dan perilaku penurunan jalan
- Persyaratan-persyaratan dalam penyusunan laporan desain, penyiapan kesimpulan-kesimpulan dan bagaimana kesimpulan tersebut dapat dicapai
- Ceklis untuk meyakinkan bahwa semua prosedur dalam Panduan ini telah dilaksanakan
- Prosedur-prosedur yang harus dilaksanakan jika rekomendasi-rekomendasi tidak dilaksanakan sesuai dengan apa yang telah diberikan dalam Panduan ini.

Sebuah CD dilampirkan dalam Panduan Geoteknik 1. Lampiran A dari Panduan Geoteknik 1 memberikan penjelasan tentang isi dari CD tersebut serta cara penggunaannya.

## Acuan Normatif

Dokumen acuan normatif di bawah ini berisi ketentuan. Dengan demikian, ketentuan dalam dokumen acuan normatif tersebut menjadi ketentuan dari panduan ini. Untuk acuan yang bertanggal, amendemen, atau revisi yang ada dari tiap publikasinya, tidak berlaku. Namun demikian, pihak-pihak yang bersepakat berdasarkan panduan ini dianjurkan untuk meneliti kemungkinan penerapan edisi terbaru dari dokumen normatif yang tertera di bawah ini. Untuk acuan tak bertanggal, penerapannya merujuk pada dokumen normatif edisi terakhir.

Dokumen acuan normatif yang digunakan:

AASHTO (1988), *Manual on Subsurface Investigations*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA.

ASTM Standards (1994), Section 4, Construction : Volumes 04.08 and 04.09, *Soils and Rock*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum (1999), *Daftar Istilah Standar Bidang ke-PU-an*, Tahun Anggaran 1998/1999, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.

BS 5930 (1981), *Code of Practice for Site Investigation*, British Standards Institution, London, UK.

BS 1377 (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes*, Parts 1-9, British Standards Institution, London, UK.

BS 8006 (1995), *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*, British Standards Institution, London, UK.

BSN Pedoman No.8-2000 (Mei 2000), *Penulisan Standar Nasional Indonesia*, Badan Standardisasi Nasional.

Direktorat Jenderal Bina Marga (1983), *Manual Penyelidikan Geoteknik untuk Perencanaan Fondasi Jembatan*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.

Direktorat Jenderal Bina Marga (1992), *Manual Desain Jembatan (Draf)*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.

Direktorat Jenderal Bina Marga (1994), *Perencanaan Geometrik Jalan antar Kota*, Badan Penerbit Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia.

ISO/IEC (1999), International Standard ISO/IEC 17025: 1999 (E), *General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.

ISSMFE (1981), *International Manual for the Sampling of Soft Cohesive Soils*, The Sub-Committee on Soil Sampling (ed), International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokai University Press, Tokyo, Japan.

Japanese Standards Association (1960), *Method of Test for Consolidation of Soils*, Japanese Industrial Standard JIS A 1217-1960.

Japanese Standards Association (1977), *Method of Unconfined Compression Test of Soil*, Japanese Industrial Standard JIS A 1216-1958 (revised 1977).

Media Teknik No. 2 Tahun XVII (1995), *Tata Istilah Teknik Indonesia*, No. ISSN 0216-3012.

NAVFAC (1971), *Design Manual: Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*, Dept of Navy, USA.

Puslitbang Geologi Bandung (1996), *Peta Geologi Kuarter Lembar Semarang, Jawa, 5022-II*.

Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung (2001), *Guideline Road Construction over Peat and Organic Soil, Draft Version 4.0/4.1*, Ministry of Settlement and Public Infrastructure of the Republic of Indonesia in co-operation with The Ministry of Transport, Public Works and Water Management (Netherlands), January.

SNI (1990), *Metoda Pengukuran Kelulusan Air pada Tanah Zona Tak Jenuh dengan Lubang Auger*, SK-SNI-M-56-1990-F, Dewan Standardisasi Nasional.

SNI (1999), *Metoda Pencatatan dan Interpretasi Hasil Pemboran Inti*, SNI 03-2436 – 1991, Dewan Standardisasi Nasional.

SNI(1999), *Metoda Pengujian Lapangan dengan Alat Sondir*, SNI 03- 2827 – 1992, Dewan Standardisasi Nasional.

SNI (1999), *Metoda Pengujian Lapangan Kekuatan Geser Baling*, SNI 06-2487 – 1991, Dewan Standardisasi Nasional.

## **Istilah Teknik**

Untuk keperluan panduan ini, selanjutnya digunakan dan diusulkan istilah-istilah teknik dalam bahasa Indonesia yang diberikan pada bagian akhir dari setiap Panduan, setelah Lampiran. Untuk memudahkan pengguna Panduan yang belum terbiasa dengan terminologi yang dimaksud, maka pada Daftar Istilah tersebut setiap istilah yang digunakan dicantumkan padanan katanya dalam bahasa Inggris.

Istilah-istilah tersebut disusun dengan mengacu pada istilah-istilah teknik yang telah umum digunakan dalam bidang kegeoteknikan, seperti yang tercantum pada SNI, Pedoman maupun Panduan Teknik lainnya, dengan tetap mengacu pada tata cara penyerapan istilah teknik yang berlaku serta kaedah-kaedah bahasa Indonesia yang baik dan benar.

Secara teknis, kegiatan penyusunan tersebut dimulai dengan penyusunan daftar istilah teknik yang terdapat pada keempat buku Panduan oleh Tim Konsultan Proyek. Daftar tersebut kemudian dikirimkan melalui korespondensi surat-menyurat kepada 21 orang Pengkaji Eksternal yang terdiri dari kalangan Perguruan Tinggi, Organisasi Profesi maupun Praktisi, untuk meminta masukan konstruktif tentang terjemahan yang tepat dan sesuai untuk masing-masing istilah berdasarkan latar belakang, pengalaman dan pendapat mereka masing-masing. Dari 10 daftar yang kembali, dilakukan kompilasi kembali oleh Tim Konsultan Proyek dengan mengacu pada standar maupun kaedah bahasa Indonesia yang baik dan benar, seperti yang terlihat pada Daftar Istilah yang diberikan pada bagian akhir setiap buku Panduan.

## Skala Mutu

Panduan ini mengasumsikan bahwa pada setiap pelaksanaan proyek jalan, seorang Perekayasa yang selanjutnya disebut sebagai Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk, akan ditetapkan untuk bertanggung jawab terhadap seluruh pekerjaan geoteknik mulai dari tahapan penyelidikan, desain dan pelaksanaan konstruksi. Penunjukkan ini dilakukan oleh Ketua Tim, Ketua Tim Desain atau seseorang yang secara keseluruhan bertanggungjawab atas proyek tersebut. Pemimpin proyek mempunyai tanggung jawab untuk menjamin Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk ada di pos selama proyek berjalan.

Panduan ini menggambarkan bagaimana Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk tersebut harus mencatat dan menandatangani setiap tahapan pekerjaan. Jika Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk tersebut suatu saat diganti, maka prosedur-prosedur yang telah ditetapkan tersebut harus dimasukkan di dalam klausul serahterima, yang mana Insinyur Geoteknik yang baru harus melanjutkannya dengan tanggung jawab sebagaimana yang telah dijelaskan pada Panduan Geoteknik 4.

Latar belakang dan pengalaman dari Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk tersebut akan bervariasi berdasarkan kuantitas dan kompleksitas dari proyek yang bersangkutan. Untuk Jalan Kabupaten, Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk harus memiliki kemampuan/latarbelakang keteknikan dasar yang cukup serta pengetahuan lokal yang memadai. Sedangkan untuk skala proyek yang lebih besar, seorang Insinyur dengan latar belakang khusus kegeoteknikan, umumnya menjadi persyaratan yang harus dipenuhi.

Untuk skala Jalan Nasional, dimana permasalahan-permasalahan tanah lunak cukup banyak ditemui, Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk harus memiliki pengetahuan dan pengalaman kegeoteknikan yang luas. Bila dipandang perlu ia dapat didukung oleh seorang Spesialis; walaupun demikian, Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk tersebut tetap bertanggungjawab secara keseluruhan terhadap Skala Mutu, sebagaimana dijelaskan dalam Panduan ini.

Jika terdapat penyelidikan atau disain geoteknik yang harus dilakukan oleh Kontraktor Pelaksana Pekerjaan, maka dalam kaitannya dengan pekerjaan tersebut kontraktor itu harus mematuhi semua persyaratan yang tercantum dalam Panduan ini. Insinyur Geoteknik yang Ditunjuk harus bertanggung jawab terhadap hal ini.

## Daftar Isi

1	Pendahuluan Panduan Geoteknik 3 .....	1
1.1	Batasan dari Panduan.....	1
2	Kriteria untuk Pemilihan Laboratorium .....	3
2.1	Pendahuluan.....	3
2.2	Akreditasi Laboratorium di Indonesia .....	4
2.3	Persyaratan Umum untuk Laboratorium Pengujian Tanah .....	6
2.4	Evaluasi Kemampuan Laboratorium Menurut ASTM D3740-92.....	8
2.4.1	Organisasi dari Laboratorium.....	8
2.4.2	Sumber Daya Manusia dari Laboratorium .....	8
2.4.3	Kualifikasi Personil .....	9
2.4.4	Verifikasi terhadap Kemampuan.....	9
2.4.5	Persyaratan Pengujian .....	9
2.4.6	Persyaratan Tambahan untuk Peralatan Pengujian.....	9
2.4.7	Persyaratan Sistem Mutu.....	10
2.4.8	Persyaratan Pencatatan dan Pelaporan.....	11
2.5	Kriteria untuk Mengevaluasi Laboratorium .....	11
2.5.1	Informasi Umum yang Dibutuhkan pada Tahap Awal dari Evaluasi Laboratorium.....	12
2.5.2	Pemeriksaan Fasilitas Laboratorium oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk .....	12
2.6	Pemeringkatan Kemampuan Pengujian Laboratorium .....	17
2.7	Pengendalian Mutu .....	20
2.7.1	Urutan Penanganan Contoh Tanah.....	22
3	Perencanaan Program Pengujian Laboratorium.....	27
3.1	Pendahuluan.....	27
3.2	Pengembangan Program Pengujian Awal Laboratorium .....	27
4	Pengujian Laboratorium .....	30
4.1	Klasifikasi Tanah.....	30
4.1.1	Klasifikasi Lempung Organik dan Inorganik .....	30
4.1.2	Klasifikasi Gambut .....	34
4.2	Pengujian Indeks yang Dilakukan untuk Tujuan Klasifikasi dan Tujuan Lainnya .....	36
4.2.1	Kadar Air Asli.....	36
4.2.2	Pembagian Ukuran Butir .....	37
4.2.3	Berat Jenis .....	38
4.2.4	Kepadatan Curah .....	39
4.2.5	Bata-batas Konsistensi (Atterberg).....	40

4.2.5.1	Indeks Likuiditas .....	44
4.2.5.2	Tingkat Keaktifan .....	44
4.2.6	Uji Geser Baling Laboratorium.....	45
4.2.7	Kadar Organik Gambut dan Tanah Organik Lainnya .....	46
4.2.7.1	Metode Hilang Pijar .....	47
4.2.7.2	Metode Oksidasi Dikromat .....	48
4.2.7.3	Diskusi Mengenai Metode yang Digunakan untuk Menentukan Kadar Organik.....	49
4.2.8	Kepadatan Curah Gambut .....	50
4.2.9	Kadar Serat Gambut .....	50
4.2.10	Ekstraksi Air Pori dan Pengukuran Salinitas .....	51
4.2.11	Konduktivitas .....	51
4.2.12	pH Bahan Gambut .....	53
4.2.13	pH Tanah .....	54
4.2.14	Kadar Karbonat .....	54
4.2.15	Kadar Klorida.....	55
4.2.16	Kadar Sulfat.....	55
4.3	Pengujian Kuat Geser .....	56
4.3.1	Uji Geser Langsung .....	56
4.3.2	Uji Tekan Triaksial.....	58
4.3.2.1	Uji Tak Terkonsolidasi-Tak Terdrainase, UU.....	59
4.3.2.2	Uji Terkonsolidasi-Tak Terdrainase, CU .....	61
4.3.2.3	Uji Terkonsolidasi-Terdrainase, CD.....	62
4.3.3	Diskusi mengenai Pengujian Laboratorium untuk Menentukan Kuat Geser Tanah Organik dan Gambut.....	65
4.4	Pengujian Konsolidasi.....	66
4.4.1	Uji Konsolidasi Satu Dimensi.....	67
4.4.1.1	Penentuan Karakteristik Pengembangan dan Keruntuhan .....	68
4.4.2	Penentuan Sifat Konsolidasi Menggunakan Sel Hidrolik .....	69
4.4.3	Diskusi Mengenai Uji Laboratorium untuk Menentukan Karakteristik Konsolidasi Tanah Organik dan Gambut .....	69
4.5	Uji Permeabilitas .....	70
4.6	Spesifikasi Program dan Parameter Pengujian Laboratorium .....	72
4.6.1	Program Pengujian Laboratorium .....	72
4.6.2	Parameter Pengujian Laboratorium .....	72
4.7	Konsistensi Data.....	79
5	Kualitas dan Kerusakan Contoh Tanah .....	81
5.1	Pendahuluan.....	81
5.2	Prosedur Laboratorium untuk Memperkecil Gangguan Pada Tanah..	81
5.2.1	Penyimpanan Contoh Tanah.....	81



5.2.2	Penanganan Contoh Tanah dan Persiapan Benda Uji untuk Pengujian.....	85
5.3	Evaluasi Terhadap Tingkat Gangguan Pada Contoh Tanah .....	89
5.3.1	Tegangan-Regangan Tak Terdrainase dan Prilaku Kuat Geser .....	89
5.3.2	Kurva Konsolidasi Satu Dimensi.....	92
5.3.3	Tegangan Efektif Residual .....	94
5.3.4	Penilaian Kualitas Contoh Tanah .....	94
6	Struktur dan Fabrik Tanah .....	95
6.1	Definisi 95	
6.2	Pemeriaan dan Identifikasi Tanah .....	96
6.3	Prosedur Penampangan dan Analisis Fabrik .....	99
6.3.1	Identifikasi dan Klasifikasi dari Fitur Fabrik .....	99
6.3.2	Prosedur Laboratorium .....	103
6.3.2.1	Pengeluaran Contoh Tanah dan Pembukaan Permukaan yang Diperiksa.....	103
6.3.2.2	Pemeriksaan dan Pemotretan Makrofabrik .....	104
6.3.2.3	Penyimpanan Data dan Pelaporan .....	104
7	Pelaporan.....	105
7.1	Persyaratan Khusus .....	105
7.2	Persyaratan Umum .....	106
7.3	Laporan Laboratorium .....	107
8	Referensi.....	110

## LAMPIRAN

Lampiran A	Metode Uji Standar yang Dikeluarkan oleh SNI, ASTM dan BSI.
Lampiran B	Uji Tekan Triaksial Terkonsolidasi-Terdrainase dengan Pengukuran Perubahan Volume; Klausul 5, 6 dan 8 dari BS 1377 : Part 8 : 1990.
Lampiran C	Persiapan Contoh Tanah Tak Terganggu untuk Pengujian; Klausul 8, BS 1377 : Part 1 : 1990.

Gambar:

Gambar 2-1	Daftar Isi dari Panduan untuk Akreditasi Laboratorium Pengujian, Komisi Akreditasi Laboratorium (PU), 1993.....	5
Gambar 2-2	Daftar Isi-ISO/IEC 17025 : 1999.....	6
Gambar 2-3	Informasi Umum yang Dibutuhkan pada Tahap Awal Pemilihan Laboratorium .....	14
Gambar 2-4	Penilaian Fasilitas Umum dari Laboratorium Selama Peninjauan Laboratorium.....	15
Gambar 2-5	Penilaian Fasilitas Laboratorium Selama Peninjauan Laboratorium.....	16
Gambar 2-6	Evaluasi terhadap Kemampuan Kontrol Pengujian dan Pengawasan selama Peninjauan Laboratorium.....	18
Gambar 2-7	Kriteria untuk Pemeringkatan Kemampuan Pengujian dari Laboratorium .....	19
Gambar 2-8	Kesimpulan dari Peringkat yang Diberikan untuk Kriteria sebagaimana Tercantum pada Gambar 2-7.....	19
Gambar 2-9	Estimasi Waktu yang Dibutuhkan untuk Melakukan Proses Seleksi Laboratorium yang Menyeluruh (Komprehensif).....	20
Gambar 2-10	Pemeriksaan Mutu untuk Prosedur dan Peralatan Pengujian Laboratorium .....	22
Gambar 2-11	Formulir Pengiriman Contoh, FPC .....	24
Gambar 2-12	Formulir Pencatatan Pengeboran Harian, FPPH .....	25
Gambar 2-13	Formulir Pemeriksaan Contoh, FPS .....	26
Gambar 3-1	Skedul Uji Laboratorium .....	29
Gambar 4-1	Grafik Plastisitas .....	31
Gambar 4-2	Bagan Alir yang Disederhanakan untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Inorganik .....	32
Gambar 4-3	Bagan Alir yang Disederhanakan untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Organik.....	32
Gambar 4-4	Perbandingan Beberapa Sistem Klasifikasi untuk Tanah Organik berdasarkan Kandungan Abu .....	34

Gambar 4-5	Gambaran Kategori Air yang Mengelilingi Partikel-partikel Lempung .....	37
Gambar 4-6	Berat Jenis dan Kadar Organik .....	39
Gambar 4-7	Fase Tanah dan Batas-batas Atterberg .....	41
Gambar 4-8	Grafik Klasifikasi untuk Potensi Mengembang .....	45
Gambar 4-9	Pemampang Utama Triaksial pada Umumnya .....	59
Gambar 4-10	Contoh Instruksi Pengambilan Contoh Tanah Pada Lubang Bor .....	73
Gambar 4-11	Program Pengujian Laboratorium BH 103 Panci .....	74
Gambar 4-12	Program Pengujian Laboratorium BH 105 Panci .....	74
Gambar 4-13	Program Pengujian Laboratorium BH 201 Pulang Pisau .....	75
Gambar 4-14	Program Pengujian Laboratorium BH 203 Pulang Pisau .....	75
Gambar 4-15	Komentar Pengujian BH 103 Panci .....	76
Gambar 4-16	Komentar Pengujian BH 105 Panci .....	77
Gambar 4-17	Komentar Pengujian BH 201 Pulang Pisau .....	78
Gambar 4-18	Komentar Pengujian BH 203 Pulang Pisau .....	79
Gambar 5-1	Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Tegangan-Regangan .....	90
Gambar 5-2	Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Nilai Kuat Geser Tak Terdrainase .....	91
Gambar 5-3	Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Angka Pori-Tekanan Konsolidasi .....	92
Gambar 5-4	Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Koefisien Konsolidasi Sekunder – Tekanan Konsolidasi .....	93
Gambar 5-5	Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Kecepatan Konsolidasi Sekunder-Tekanan Konsolidasi .....	94
Gambar 6-1	Geometri Permukaan Fitur pada Endapan Berlapis .....	101

Gambar 6-2	Formulir Pencatatan Makrofabrik untuk Endapan Berlapis.....	103
------------	---	-----

Tabel:

Tabel 4-1	Pengaruh Karbon Organik, Kadar Ukuran lempung dan monmorilonit terhadap Batas Atterberg.....	43
Tabel 5-1	Regangan saat Runtuh dari Contoh Tanah Tak Terganggu dalam Uji Kompresi Tak Terdrainase.....	90
Tabel 6-1	Identifikasi Tanah Inorganik Berbutir Halus berdasarkan Manual Pengujian (ASTM D 2488-93).....	98
Tabel 6-2	Pemeriaan yang Diusulkan untuk Pengkarakterisasian Sifat-sifat Dasar dari Fitur pada Endapan Berlapis.....	100
Tabel 6-3	Karakterisasi Geometri Permukaan dari Fitur pada Endapan Berlapis .....	101
Tabel 6-4	Klasifikasi Frekuensi dari Sedimen Berlapis .....	102
Tabel 6-5	Klasifikasi Intensitas dari Sedimen Berlapis .....	102
Tabel A-1	Metode Uji Standar yang diterbitkan oleh SNI, ASTM dan BSI .....	A1
Tabel A-2	Metode Uji Standar yang Diterbitkan oleh SNI, ASTM dan BSI (lanjutan).....	A2

# 1

## Pendahuluan Panduan Geoteknik 3

### 1.1

#### BATASAN DARI PANDUAN

Panduan Geoteknik 3 ini membahas tentang uji yang dilaksanakan di laboratorium untuk keperluan evaluasi terhadap stabilitas, daya dukung dan penurunan dari konstruksi jalan yang dibangun di atas tanah lunak. Dalam Panduan Geoteknik ini juga diuraikan mengenai lempung inorganik dan lempung organik, gambut, dan penekanan khusus diberikan untuk tindakan pencegahan yang harus diambil ketika melakukan pengujian terhadap lempung organik dan gambut serta interpretasi terhadap data yang dihasilkannya. Sedangkan uji untuk material timbunan yang dipadatkan (misalnya untuk mendapatkan nilai maksimum dari kepadatan kering, dan nilai CBR, tidak akan dibahas dalam panduan ini.

Supaya hasil uji laboratorium dapat digunakan, maka penting untuk diperhatikan bahwa laboratorium yang dipilih untuk melakukan uji tersebut harus memiliki kemampuan dan kapasitas yang diinginkan, khususnya dengan memperhatikan sistem pengendalian mutunya. Bab 2 dari Panduan Geoteknik ini menjelaskan secara detil prosedur yang harus ditempuh untuk menilai dan menentukan kelas atau tingkatan dari sebuah laboratorium, dilihat dari tingkat kemampuannya melakukan suatu pengujian.

Perencanaan penyelidikan tanah membutuhkan koordinasi dan kesatuan antara kegiatan lapangan dan laboratorium itu sendiri, dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan dengan biaya seminimal mungkin. Bab 3 dari Panduan Geoteknik ini membahas tentang perencanaan program pengujian laboratorium dan pemeriksaan faktor-faktor yang mempengaruhi batasan dari program tersebut.

Dijelaskan pada Bab 4 dari Panduan Geoteknik ini, sistem yang digunakan untuk mengklasifikasi tanah organik dan inorganik berbutir halus serta gambut; jenis pengujian yang harus dilakukan untuk mengklasifikasikan tanah, dan untuk mendapatkan karakteristik kuat geser, kompresibilitas dan permeabilitasnya juga dijelaskan. Jenis tanah tersebut umumnya diuji dengan metode uji standar sebagaimana tercantum dalam Lampiran A. Adalah merupakan hal yang penting bagi seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk untuk merumuskan secara jelas program pengujian yang akan dilakukan terhadap contoh tanah, serta parameter uji apa yang akan digunakan; sebuah contoh mengenai hal ini diberikan dalam bentuk sebuah prosedur.

Bab 5 dari Panduan Geoteknik ini menguraikan mengenai gangguan atau kerusakan yang terjadi pada contoh tanah, dan konsekuensi akan kemungkinan terjadinya penurunan kualitas yang terjadi di laboratorium selama proses penanganan contoh dan persiapan pengujian spesimen; tindakan pencegahan yang harus dilakukan untuk memperkecil gangguan yang timbul juga dibahas. Prosedur yang dikeluarkan oleh Masyarakat Internasional untuk Mekanika Tanah dan Teknik Fondasi (*International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, ISSMFE, 1981*) untuk mengevaluasi kualitas relatif dari sampel berdasarkan pada interpretasi dari hasil pengujian memberikan detail tahapan kegiatan yang harus dilakukan.

Bab 6 dari Panduan Geoteknik ini menguraikan fabrik dan struktur tanah. Prosedur ASTM menjelaskan secara detail bagaimana caranya mengidentifikasi tanah yang dapat digunakan baik untuk di lapangan maupun di laboratorium. Analisis terhadap makrofabrik tanah, dengan menggunakan metode yang diusulkan oleh Mc Gown dan Jarrett (1997a) juga dibahas, yang meliputi prosedur laboratorium untuk pemotretan dan pelaksanaan dari pemeriksaan makrofabrik tersebut.

Bagian akhir dari Panduan Geoteknik ini membicarakan persyaratan yang harus dipenuhi dalam pelaporan hasil dari pengujian laboratorium tersebut.

## 2

## Kriteria untuk Pemilihan Laboratorium

### 2.1

### PENDAHULUAN

Akses ke laboratorium yang (i) memiliki kapasitas dan kemampuan untuk melaksanakan seluruh kegiatan penyelidikan lapangan sesuai dengan yang direncanakan dan (ii) terletak pada lokasi yang mudah dijangkau dari lokasi proyek, merupakan hal yang utama. Laboratorium Geoteknik yang ada di Indonesia meliputi:

- laboratorium di lingkungan Pusat Penelitian dan Pengembangan dari Badan Penelitian dan Pengembangan pada Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah,
- laboratorium di Departemen Teknik Sipil di universitas-universitas,
- laboratorium di lingkungan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- laboratorium-laboratorium material dan tanah di propinsi-propinsi yang dulunya merupakan bagian dari Dinas Pekerjaan Umum Daerah,
- laboratorium swasta.

Akreditasi laboratorium yang dilakukan oleh sebuah badan yang diakui merupakan suatu prosedur yang biasa digunakan untuk menjamin keberadaan dan konsistensi dari laboratorium tersebut. Standar yang ketat terhadap kemampuan untuk melakukan pekerjaan tertentu dan kewajiban yang harus dilakukan dalam proses pemilihan laboratorium biasanya akan lebih lebih mudah jika proses akreditasi resmi berlaku dalam lingkup nasional. Meskipun demikian, dalam hal akreditasi laboratorium ini, seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mengetahui hal-hal yang berkaitan dengan masa berlakunya akreditasi tersebut, misalnya bahwa tidak ditemukan adanya penyimpangan terhadap standar yang berlaku sejak masa akreditasi tersebut diperoleh. Bila tidak ada akreditasi, evaluasi yang seksama harus dilakukan untuk menilai kenyataan yang ada, yang biasanya dievaluasi dalam bentuk sebuah prosedur baku akreditasi.

Sering kali agak sulit untuk mendapatkan laboratorium yang memadai dengan jarak yang cukup dekat dari lokasi proyek. Hal ini akan berpengaruh pada biaya yang harus dikeluarkan untuk transportasi serta biaya pengepakan contoh tanah supaya dapat terlindungi dari kerusakan dan gangguan. Juga dibutuhkan kontrol yang lebih ketat terhadap jadwal pengambilan contoh dan pengujian laboratorium.



Pemilihan laboratorium merupakan sebuah bagian yang tak terpisahkan dengan proses perencanaan penyelidikan lapangan. Sebelum rencana detail diselesaikan, perlu kiranya untuk menominasikan laboratorium yang akan melaksanakan pengujian, dengan melibatkan manajemen laboratorium dalam diskusi tentang program pengujian dan membuat perencanaan untuk pembelian berbagai macam perlengkapan khusus yang dibutuhkan.

## 2.2

## AKREDITASI LABORATORIUM DI INDONESIA

Badan Standardisasi Nasional (BSN) pada tahun 1991 mengeluarkan Pedoman 01 – 1991 mengenai Persyaratan Umum Kemampuan Pengujian. Pedoman tersebut disusun berdasarkan pada Standar Internasional ISO/IEC (*International Standard ISO/IEC Guide 25:1982*), yang dikeluarkan oleh Organisasi Standar Internasional, *ISO (the International Organization for Standardization)* dan Komisi Elektronik Internasional, *IEC (the International Electrotechnical Commission)*.

Pada tahun 1993, Komisi Akreditasi Laboratorium pada Departemen Pekerjaan Umum telah mengeluarkan sebuah pedoman untuk akreditasi laboratorium pengujian yang dikenal sebagai Petunjuk Penilaian Laboratorium Pengujian. Pedoman tersebut dikeluarkan oleh Ketua Komisi yaitu Sekretaris Menteri Riset dan Teknologi; daftar isi dari pedoman tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. Pedoman tersebut dikembangkan untuk kepentingan akreditasi laboratorium milik PU propinsi dan swasta yang melakukan pekerjaan dalam lingkup Departemen Pekerjaan Umum; laboratorium yang melakukan akreditasi tersebut adalah laboratorium Puslitbang Prasarana Transportasi (Puslitbang Jalan), Puslitbang Air dan Puslitbang Pemukiman.

	<b>Halaman</b>
<b>PENDAHULUAN</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	ii
<b>I PENGANTAR</b>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan	1
1.3 Pemakaian dari Panduan	2
<b>II TERMINOLOGI</b>	2
<b>III METODE AKREDITASI</b>	2
<b>PERSYARATAN TEKNIS</b>	3
3.1 Organisasi dan Manajemen	3
3.2 Personil	4
3.3 Peralatan	4
3.4 Metode Pengujian	5
3.5 Infrastruktur dan Lingkungan	6
<b>IV LAPORAN AKREDITASI</b>	7
 <b>LAMPIRAN</b>	
Formulir Permintaan untuk Akreditasi	

**Gambar 2-1** Daftar Isi dari Panduan untuk Akreditasi Laboratorium Pengujian, Komisi Akreditasi Laboratorium (PU), 1993.

Standar yang dikeluarkan oleh ISO dan IEC pada tahun 1999 merupakan edisi pertama dari Standar Internasional tentang Persyaratan Umum untuk Kemampuan Laboratorium Pengujian dan Kalibrasi (*International Standard ISO/IEC 17025:1999 – General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*). Dokumen ini telah dicabut dan digantikan dengan edisi tahun 1990 dari *ISO/IEC Guide 25*.

Pedoman dari ISO/IEC 17025:1999 telah diterjemahkan kedalam Bahasa Indonesia dan dikeluarkan oleh Badan Standardisasi Nasional – BSN sebagai Rancangan Standar Nasional Indonesia (RSNI) untuk didiskusikan. Rancangan tersebut diberi judul “Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi” seperti ditunjukkan dalam SNI 19-17025-2000.

Daftar isi dari ISO/IEC 17025-1999 dapat dilihat pada Gambar 2-2.

	Halaman
<b>DAFTAR ISI</b>	
<b>PENDAHULUAN</b>	iv
<b>PENGANTAR</b>	v
<b>1 BATASAN</b>	1
<b>2 REFERENSI NORMATIF</b>	1
<b>3 KETENTUAN DAN SYARAT</b>	2
<b>4 PERSYARATAN MANAJEMEN</b>	2
4.1 Organisasi	2
4.2 Sistem Mutu	3
4.3 Kontrol Dokumen	4
4.4 Pemeriksaan terhadap permintaan, tender dan kontrak	5
4.5 Pelaksanaan Sub Kontrak untuk pekerjaan pengujian dan kalibrasi	5
4.6 Pembelian untuk jasa dan barang	6
4.7 Pelayanan kepada klien	6
4.8 Pengaduan dan keluhan	7
4.9 Kontrol terhadap pekerjaan yang tidak tepat dan/atau pekerjaan kalibrasi	7
4.10 Tindakan perbaikan	7
4.11 Tindakan pencegahan	8
4.12 Kontrol terhadap pencatatan	8
4.13 Audit internal	9
4.14 Pemeriksaan terhadap manajemen	9
<b>5 PERSYARATAN TEKNIS</b>	10
5.1 Umum	10
5.2 Personil	10
5.3 Akomodasi dan kondisi lingkungan	11
5.4 Metode pengujian dan kalibrasi dan metode validasi	12
5.5 Peralatan	15
5.6 Pengukuran akan kemampuan penelusuran kembali	16
5.7 Pengambilan contoh tanah	18
5.8 Penanganan pengujian dan kalibrasi	18
5.9 Penjaminan akan kualitas hasil pengujian dan kalibrasi	19
5.10 Pelaporan hasil	19
<b>TAMBAHAN A</b> (Keterangan) Nominal cek silang dengan ISO-9001:1994 dan ISO 9002:1994	23
<b>TAMBAHAN B</b> (Keterangan) Pedoman untuk menetapkan pelaksanaan pada lapangan-lapangan tertentu	24
<b>BIBLIOGRAFI</b>	25

Gambar 2-2 Daftar Isi-ISO/IEC 17025 : 1999

## 2.3 PERSYARATAN UMUM UNTUK LABORATORIUM PENGUJIAN TANAH

Persyaratan yang harus dipenuhi oleh sebuah laboratorium mekanika tanah disebutkan dalam AASHTO (1988) yang meliputi 3 hal pokok sebagai berikut:

### *Peralatan*

- laboratorium harus terletak pada lantai dasar atau ruangan bawah tanah yang memiliki lantai keras/kaku yang bebas dari getaran akibat mesin atau lalu lintas,

- laboratorium harus dilengkapi dengan peralatan uji tanah yang terbaru yang sesuai untuk melakukan pengujian untuk klasifikasi dan sifat-sifat material yang dibutuhkan,
- idealnya untuk kegiatan yang menghasilkan debu, seperti uji analisa saringan dan persiapan contoh, harus ditempatkan pada ruangan terpisah,
- peralatan harus diatur berdasarkan kelas dan tipe pengujian, untuk menghasilkan suatu sistem pemanfaatan dan tata letak ruang yang paling efisien,
- jika memungkinkan, temperatur untuk seluruh laboratorium harus dapat dikontrol; jika ruangan yang suhunya dapat dikontrol terbatas, maka ruangan ini hanya dipakai untuk uji konsolidasi, triaksial dan permeabilitas,
- sebuah ruangan lembab yang cukup luas untuk menyimpan contoh tak terganggu dan untuk mempersiapkan spesimen untuk pengujian harus tersedia,
- pengawasan reguler dan kalibrasi peralatan pengujian harus selalu dilakukan untuk menjamin keakuratan dari hasil yang didapat.

#### ***Personil***

- seluruh pengujian laboratorium harus dikerjakan dan diawasi oleh personil yang memiliki kemampuan yang didapat melalui pelatihan dan pengalaman untuk melaksanakan tugas yang diberikan kepadanya,
- personil yang ditugasi harus terbiasa dengan peralatan, prosedur pengujian dan teknik laboratorium yang baik secara keseluruhan, dan juga harus memahami tujuan dari setiap pengujian yang ditugaskan kepadanya,
- program pelatihan untuk personil-personil di laboratorium harus selalu diadakan.

#### ***Jaminan Mutu***

- kontrol terhadap jaminan mutu harus ada minimal untuk memeriksa dan menilai kegiatan-kegiatan berikut secara minimal:
  - penanganan dan penyimpanan contoh tanah,
  - persiapan benda uji,
  - kepatuhan pada prosedur pengujian yang tepat,
  - keakuratan pembacaan,
  - pemeliharaan peralatan,
  - pemeriksaan dan penilaian terhadap data hasil uji,
  - penyajian data hasil uji.

*BS 1377 : Part 1 : 1990* menyebutkan informasi umum yang berhubungan dengan uji-uji tersebut, kalibrasi umum dan persyaratan khusus, serta

persyaratan umum untuk pekerjaan laboratorium pengujian tanah dan pekerjaan lapangan.

## **2.4 EVALUASI KEMAMPUAN LABORATORIUM MENURUT ASTM D3740-92**

Aspek Standar yang dijelaskan dalam ASTM D3740-92 memberikan sebuah dasar standardisasi untuk menilai sebuah laboratorium pengujian akan kemampuannya secara obyektif dalam memberikan pelayanan tertentu yang dibutuhkan oleh pengguna jasa.

Aspek yang dapat digunakan sebagai dasar akreditasi, mencakup baik untuk lapangan dan laboratorium; namun pada Panduan ini hanya kegiatan di laboratorium saja yang dibahas.

Prosedur untuk membuat sebuah evaluasi terhadap laboratorium dijelaskan dalam aspek yang meliputi 8 hal pokok. Kesimpulan yang diberikan berikut memberikan petunjuk umum dari persyaratan yang harus dipenuhi.

### **2.4.1 Organisasi dari Laboratorium**

Informasi-informasi berikut harus tersedia:

- nama dan alamat resmi dari kantor utama,
- nama dan jabatan petugasnya,
- kepemilikan dari laboratorium,
- wilayah bidang pelayanan secara geografis,
- pelayanan teknis terkait yang ada,
- tipe para pengguna jasa,
- organisasi atau laboratorium lain yang bekerja sama yang memberikan dukungan dalam pelayanan,
- akreditasi atau sertifikat pengakuan lainnya yang menunjukkan tingkat kemampuan laboratorium yang bersangkutan.

### **2.4.2 Sumber Daya Manusia dari Laboratorium**

Informasi-informasi berikut harus tersedia:

- bagan organisasi laboratorium yang menunjukkan jabatan dari personil dan garis otoritas dan tanggungjawabnya masing-masing,
- penjelasan tugas untuk masing-masing kategori personil, termasuk pendidikan, pelatihan dan pengalamannya,

- sistem yang digunakan dalam mengevaluasi tingkat kemampuan personil yang ditunjukkan untuk melaksanakan pengujian tertentu.

### 2.4.3

#### Kualifikasi Personil

- seorang *ahli profesional* yang bertanggungjawab memberikan perintah-perintah teknis dan manajemen terhadap jasa yang diberikan. Personil pada posisi ini harus merupakan karyawan tetap dari laboratorium dengan pengalaman minimal 5 tahun dalam bidang pengujian tanah,
- *teknisi pengawas* yang paling tidak memiliki pengalaman selama 5 tahun dalam melakukan pengujian tanah dan dapat mendemonstrasikan kemampuannya, baik secara tertulis maupun penjelasan lisan, atau keduanya; memiliki kemampuan untuk melakukan pengujian dengan prosedur yang telah ditentukan; ia juga harus mampu untuk mengevaluasi hasil pengujian untuk memenuhi persyaratan yang diminta,
- *teknisi pelaksana pengujian* merupakan personil yang telah mendapatkan pelatihan yang memadai untuk melaksanakan pengujian yang ditugaskan kepadanya secara tepat, dan dapat mendemonstrasikan kemampuannya; ia harus bekerja dibawah pengawasan dari teknisi pengawas dan *tidak boleh diijinkan untuk mengevaluasi hasil pengujiannya sendiri*.

### 2.4.4

#### Verifikasi terhadap Kemampuan

- fasilitas laboratorium harus diperiksa kembali untuk minimal setiap dua tahun sekali oleh pihak yang berwenang,
- laboratorium juga harus terlibat dalam kelancaran dari program pengujian.

### 2.4.5

#### Persyaratan Pengujian

- laboratorium harus memenuhi persyaratan mengenai peralatan dan prosedur pengujian sebagaimana diisyaratkan dalam metode-metode uji standar yang digunakan,
- laboratorium harus memiliki peralatan uji yang memadai dan memiliki fasilitas penyimpanan, persiapan serta pengujian dan analisis contoh tanah.

### 2.4.6

#### Persyaratan Tambahan untuk Peralatan Pengujian

Bab ini menguraikan persyaratan peralatan untuk pengujian dan analisis yang merupakan tambahan dari yang telah disebutkan dalam metode pengujian ASTM, terutama tentang frekuensi kalibrasi yang harus dilakukan.

Frekuensi kalibrasi yang harus dilakukan untuk berbagai variasi peralatan dijelaskan sebagai berikut:

### **Jenis Peralatan**

\* Alat penekan atau pembebanan

\* Timbangan, neraca dan beban

\* Alat Penumbuk Mekanik dan Manual

\* Oven

\* Cetakan Benda Uji

\* Saringan

\* Alat Saringan Mekanik

### **Frekuensi Kalibrasi**

Minimal setiap 12 bulan sekali  
(kecuali disebutkan dalam metode standar yang digunakan)

Minimal setiap 12 bulan sekali

Minimal setiap 12 bulan sekali

Temperaturnya harus diverifikasi minimal setiap 4 bulan sekali

Diameter dalam dan tingginya harus diperiksa minimal setiap 12 bulan sekali

Kondisi fisik dari ayakan harus diperiksa secara visual sebelum dipakai; dimensi fisik dari ayakan kawat harus diperiksa setiap 6 bulan sekali.

Kecukupan pengayakan dari alat ini minimal harus diperiksa setiap 12 bulan sekali

## **2.4.7**

### **Persyaratan Sistem Mutu**

Laboratorium harus:

- memiliki manual mutu yang tertulis,
- menunjuk seorang dalam organisasi laboratorium, yang bertanggung jawab memelihara sistem mutu laboratorium tersebut,
- menyimpan daftar inventaris yang sesuai dengan keberadaan peralatan secara fisik,
- menyimpan dokumen yang berhubungan dengan sertifikat kalibrasi, verifikasi dan toleransi yang diijinkan,
- menyimpan dokumen-dokumen yang menjelaskan :
  - prosedur penanganan keluhan teknis dari klien,
  - prosedur penjaminan kualitas unit pelayanan teknis eksternal,
  - prosedur pencatatan, pemeriksaan dan pemrosesan data, pelaporan hasil pengujian,
  - prosedur untuk identifikasi, penyimpanan sementara, penyimpanan tetap dan pembuangan contoh tanah.



#### 2.4.8

#### Persyaratan Pencatatan dan Pelaporan

- sebuah laboratorium harus menyimpan rekaman verifikasi dari setiap laporan yang dikeluarkan,
- sebuah rekaman untuk setiap laporan, dan catatan lainnya yang berkaitan, harus disimpan untuk paling tidak selama tiga tahun dan harus memuat nama personil yang melakukan pekerjaan pengujian masing-masing.

Catatan yang harus disimpan oleh laboratorium tersebut antara lain meliputi hasil dari audit internal maupun eksternal, hasil program pelatihan yang diberikan pada personil di laboratorium, verifikasi dari kemampuan organisasi/laboratorium eksternal dan hasil lengkap persyaratan untuk kalibrasi dan verifikasi.

Informasi lain yang akan dimasukkan dalam laporan, juga diberikan lebih detail, misalnya sebuah identifikasi tentang laporan, proyek, contoh tanah atau jenis pengujian yang dilakukan, nama dan kedudukan dari personil yang bertanggungjawab secara teknik terhadap laporan, dan metode standar yang digunakan.

### 2.5

#### KRITERIA UNTUK MENGEVALUASI LABORATORIUM

Panduan Geoteknik ini terutama membicarakan masalah pengujian laboratorium untuk tanah, dan kriteria untuk mengevaluasi kemampuan dari laboratorium yang ada dalam memberikan pelayanan tertentu yang diberikan di bawah ini.

Bagaimanapun juga, dalam melaksanakan pengujian terhadap contoh tanah yang diambil selama pelaksanaan penyelidikan lapangan serta kemampuannya untuk memberikan pelayanan pada tingkat yang memuaskan, merupakan hal kritis dari sebuah laboratorium yang sangat bergantung pada bagaimana penyelidikan lapangan tersebut dilakukan. Untuk alasan tersebut, akan lebih baik jika tak ada pemisahan tanggungjawab untuk kedua penyelidikan baik laboratorium maupun lapangan tersebut, oleh karenanya sebaiknya tanggungjawab atas kedua pekerjaan tersebut diberikan pada satu institusi yang sama.

Karena bukan merupakan bagian dari Panduan Geoteknik ini untuk membahas kriteria dalam mengevaluasi kemampuan dari suatu organisasi dalam melakukan penyelidikan lapangan, perlu digarisbawahi bahwa besar tanggungjawab yang diberikan untuk kedua penyelidikan tersebut, merupakan bagian tak terpisahkan satu dengan lainnya, dan untuk mendapatkan pelayanan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka kemampuan dari organisasi/laboratorium yang melakukan pekerjaan penyelidikan lapangan tersebut harus dievaluasi dengan cara yang sama dengan pengujian laboratorium, sebagaimana akan dijelaskan pada bab-bab berikut.

### 2.5.1

#### Informasi Umum yang Dibutuhkan pada Tahap Awal dari Evaluasi Laboratorium

Tahap awal dalam proses evaluasi terhadap laboratorium adalah mengundang laboratorium-laboratorium untuk mendapatkan informasi sebagaimana yang terdaftar pada Gambar 2-3.

Pada tahapan ini, wilayah daerah pencarian terhadap laboratorium yang akan dipilih secara geografis harus ditetapkan. Pada beberapa lokasi proyek, mungkin terdapat sejumlah laboratorium dengan jarak dari lokasi proyek yang cukup dekat yang dapat memberikan alternatif pilihan. Pada lokasi yang lain, alternatif pilihan dapat saja terbatas, dimana pada kasus ini perlu diputuskan untuk memperluas wilayah pencarian secara geografis. Tipe pengujian yang akan dilaksanakan juga akan sangat mempengaruhi wilayah pencarian; jika proyek yang ada secara relatif tidak terlalu penting dan data untuk keperluan desain yang didapat dari pengujian pengklasifikasian dianggap sudah memadai, maka perluasan wilayah pencarian tak perlu dilakukan lagi, sebagaimana harus dilakukan pada kasus dimana proyeknya dipandang sangat penting dan membutuhkan data dari pengujian laboratorium yang lebih canggih.

Jika telah didapatkan sejumlah laboratorium, kemudian dibuat evaluasi berdasarkan syarat-syarat yang diberikan pada Gambar 2-3 yang merupakan dasar bagi seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk untuk melakukan pengamatan singkat terhadap laboratorium yang dipakai.

### 2.5.2

#### Pemeriksaan Fasilitas Laboratorium oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Untuk membuat penilaian terhadap keakuratan informasi yang disajikan pada Gambar 2-3, dan untuk mengembangkannya sebagai dasar dalam memberikan peringkat laboratorium, laboratorium yang terdaftar untuk dipertimbangkan lebih lanjut, perlu diperiksa oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk.

Jawaban atas pertanyaan yang terdapat pada Gambar 2-4 dapat memberikan penilaian awal terhadap fasilitas umum yang tersedia pada laboratorium, dan seberapa besar tingkat efisiensi operasionalnya. Semua pertanyaan dianggap sesuai untuk diterapkan tetapi penekanan khusus harus diperhatikan terhadap adanya (i) fasilitas penyimpanan contoh tanah dan (ii) ruangan untuk persiapan dan pengujian contoh tanah yang kelembaban/temperaturnya dikontrol dan juga apakah ada sistem penyimpanan dan pengeluaran data.

Gambar 2-5 menyajikan daftar informasi yang dibutuhkan untuk mengevaluasi kapasitas pengujian suatu laboratorium yang ditunjukkan oleh tersedianya peralatan. Umumnya, laboratorium pengujian tanah tidak memiliki peralatan, bahan dan keahlian yang dibutuhkan untuk melakukan berbagai pengujian kimia. Jika hal ini dijumpai, perhatian khusus harus diberikan terhadap informasi yang diberikan dari Butir 4 pada Gambar 2-3 yaitu “organisasi/laboratorium luar yang digunakan untuk mendukung pelayanan teknis yang signifikan”. Organisasi/laboratorium luar yang terlibat dalam

program pengujian disyaratkan untuk dievaluasi secara penuh berdasarkan pada kemampuan mereka dalam memberikan pelayanan yang diinginkan secara memuaskan. Seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memeriksa: (i) format mengenai pengujian mana saja yang dilakukan di luar, misalnya apakah berdasarkan metode pengujian tertentu, data pengujian spesifik apa yang dibutuhkan, dan (ii) data pendukung lain yang dihasilkan dari hasil pengujian. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut juga harus mengetahui bagaimana laboratorium utama tersebut dapat mengontrol mutu dari hasil pengujian yang dilakukan diluar.

Gambar 2-6 dimaksudkan untuk memberi informasi mengenai metode pengujian yang digunakan di laboratorium, adanya salinan dari metode tersebut dan nama dari personil yang melakukan pengujian, yang mengawasi dan yang menyetujui hasil serta yang melakukan analisis dari hasil pengujian. Merupakan suatu hal yang sangat penting bahwa seluruh lembar rekaman data pengujian dan lembar analisis data disetujui oleh yang berwenang; lembar yang tidak ditandatangani merupakan dokumen yang tidak sah. Informasi mengenai personil yang terlibat dalam kegiatan pengujian harus diperiksa berdasarkan data yang ada pada Butir 10 dan 11 dari Gambar 2-3, untuk memastikan jika personil yang ditugasi melakukan pengujian tersebut telah memiliki latar belakang dan pengalaman yang memadai.

Informasi umum yang dibutuhkan dari laboratorium		Informasi yang didapat		
		Lengkap	Tak Lengkap	Catatan
1.	Nama dan alamat resmi dari kantor utama			
2.	Nama dan posisi dari direktur dan petugas utama			
3.	Kepemilikan utama laboratorium, struktur manajerial, keanggotaan dan afiliasinya			
4.	Organisasi/laboratorium lain yang bekerja sama dan memberikan dukungan pelayanan teknis			
5.	Sejarah singkat dari laboratorium			
6.	Wilayah geografis yang dilayani			
7.	Daftar pelayanan teknis yang sudah diberikan			
8.	Tipe pengguna jasa			
9.	Akreditas atau sertifikat pengakuan lainnya yang menunjukkan tingkat kemampuan laboratorium			
10.	Bagan organisasi laboratorium yang menunjukkan posisi personil, garis otoritas dan tanggungjawab			
11.	Penjelasan tugas untuk masing-masing personil			
12.	Sistem yang digunakan dalam mengevaluasi tingkat kemampuan personil secara berkelanjutan untuk melakukan tugas spesifik			
13.	Inventarisasi dari peralatan utama			
14.	Detil dari sistem jaminan mutu			
15.	Nama dan posisi dari personil yang bertanggungjawab terhadap pengendalian atau jaminan mutu (jika belum diberikan pada butir 10 ataupun 14 di atas)			
Nama laboratorium				
Dibuat oleh		Tanggal		
Nama				
Posisi				

**Gambar 2-3** Informasi Umum yang Dibutuhkan pada Tahap Awal Pemilihan Laboratorium

Pertanyaan		Jawaban		Keterangan
		Ya	Tidak	
1.	Apakah terdapat lantai/ruangan yang cukup untuk menempatkan peralatan di laboratorium?			
2.	Apakah lantai laboratorium dipengaruhi oleh getaran?			
3.	Apakah terdapat ruangan terpisah untuk berbagai tipe alat pengujian yang berbeda?			
4.	Apakah laboratorium tersebut temperaturnya terkontrol seluruhnya?			
5.	Apakah terdapat ruangan khusus yang temperaturnya dapat dikontrol di laboratorium tersebut?			
6.	Apakah ruangan yang temperaturnya dapat dikontrol tersebut digunakan untuk jenis pengujian tertentu?			
7.	Apakah ruangan yang temperaturnya dapat dikontrol tersebut digunakan untuk ruangan komputer, penyimpanan data/ peralatan pemrosesan?			
8.	Apakah terdapat ruangan ter pisah untuk penyimpanan contoh?			
9.	Apakah ruangan penyimpanan contoh tanah dikontrol kelembabannya?			
10.	Apakah ruangan penyimpanan contoh tanah dikontrol temperaturnya?			
11.	Apakah terdapat ruangan yang kelembabannya dikontrol untuk mempersiapkan benda uji?			
12.	Apakah kegiatan yang menghasilkan debu dilakukan pada tempat yang terpisah dari laboratorium utama?			
13.	Apakah permukaan lantai kerja atau meja kerja cukup luas dan tahan terhadap getaran?			
14.	Apakah tersedia titik sumber listrik dan keran air dengan jumlah yang cukup yang berdekatan dengan meja kerja?			
15.	Apakah terdapat fasilitas untuk penyimpanan peralatan secara baik jika tidak sedang digunakan?			
16.	Apakah setiap peralatan selalu dijaga kebersihannya dan dalam kondisi yang baik?			
17.	Apakah ada ruangan khusus atau tempat untuk penyimpanan data pengujian			
18.	Apakah ada ruangan khusus atau tempat untuk analisis data pengujian?			
19.	Apakah ada ruangan khusus atau tempat untuk penyimpanan/arsip: Sertifikat Kalibrasi? Jadwal Kalibrasi? Jadwal Pemeliharaan? Prosedur Pengujian Standar?			
20.	Apakah pernah mempunyai pengalaman melakukan pengujian tanah lunak organik?			
21.	Apakah pernah mempunyai pengalaman melakukan pengujian gambut?			
22.	Apakah ada peralatan khusus yang dibeli untuk pengujian tanah lunak organik?			
23.	Apakah ada peralatan khusus yang dibeli untuk pengujian gambut?			
Nama Laboratorium: Tanggal Kunjungan: Oleh:				

**Gambar 2-4** Penilaian Fasilitas Umum dari Laboratorium Selama Peninjauan Laboratorium

Jenis Pengujian	Peralatan yang Ada		Keterangan
	Ya	Tidak	
1. Uji klasifikasi: Kadar Air Distribusi Ukuran Butir Berat Jenis Batas Atterberg Baling Laboratorium Kadar Organik (Hilang Pijar) Berat Isi Curah Gambut Kadar Serat Gambut			
2. Uji Kimia: Kadar Organik (Oksidasi dikromat) Ekstraksi air pori dan Pengukuran Salinitas Konduktivitas pH Material Gambut pH Tanah Kadar Karbonat Kadar Klorida Kadar Sulfat			
3. Uji Kuat Geser: Uji Tekan Beban Uji Geser Langsung Triaksial UU Triaksial CU Triaksial CD			
4. Uji Konsolidasi: Uji konsolidasi Satu Dimensi Sel Hidrolik (Sel Rowe )			
5. Uji Permeabilitas			
Nama Laboratorium: Tanggal Kunjungan: Oleh:			

**Gambar 2-5** Penilaian Fasilitas Laboratorium Selama Peninjauan Laboratorium

## 2.6

### PEMERINGKATAN KEMAMPUAN PENGUJIAN LABORATORIUM

Informasi yang diberikan dalam Gambar 2-3 hingga 2-6 memungkinkan bagi Ahli Geoteknik yang Ditunjuk untuk membuat sebuah analisis yang sistematis mengenai kemampuan laboratorium yang sedang dievaluasi dan menyarankan laboratorium yang dipilih secara objektif berdasarkan fakta yang ada. Tetapi perlu disadari bahwa ceklis yang diberikan disini hanyalah memberikan panduan saja; Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut dapat saja meminta informasi tambahan lain berdasarkan pengalaman dan pengetahuannya terhadap kondisi daerah yang bersangkutan.

Kriteria yang tercantum pada Gambar 2-7 dapat membantu Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut dalam memberi peringkat terhadap laboratorium yang diamati berdasarkan tingkat kemampuannya dalam melakukan pengujian. Pada gambar ini laboratorium diberi peringkat secara sederhana sebagai peringkat A, B dan C dengan mengacu pada kriteria yang diberikan. Semua kriteria diberi bobot yang sama, karena itu kriteria tersebut tidak dibuat dengan urutan tertentu secara khusus. Peringkat tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- A : adalah laboratorium yang secara umum memenuhi kriteria dan diharapkan dapat memberikan pelayanan yang diminta secara memuaskan,
- B : adalah laboratorium yang jelas tidak secara penuh dapat memenuhi kriteria, dan hasil pengujian yang didapat harus diperlakukan dengan hati-hati; peringkat ini masih memungkinkan untuk ditingkatkan bila usulan yang dibuat oleh ahli geoteknik untuk perbaikan diterima oleh manajemen laboratorium dan dilaksanakan,
- C : adalah laboratorium yang tidak bisa memenuhi kriteria dan tidak dapat digunakan kecuali untuk pengujian yang relatif sederhana dan itupun harus dibawah pengawasan langsung.

Waktu melakukan penilaian terhadap *masing-masing kriteria*, akan lebih memudahkan bila dalam memberi nilai tersebut digunakan skala 1 hingga 10, untuk Peringkat A dengan batasan 8 hingga 10, Peringkat B dengan batasan 4 hingga 7 dan Peringkat C dengan batasan 1 hingga 3. Tetapi sistem pemeringkatan dengan menggunakan angka ini *tidak boleh diterapkan secara kolektif* untuk kriteria secara keseluruhan, karena hal tersebut akan menimbulkan persoalan akan adanya tingkat relatif akan pentingnya masing-masing kriteria tersebut.

Bila peringkat yang diberikan kepada laboratorium yang berbeda seperti diperlihatkan pada Gambar 2-7 disimpulkan dalam format sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2-8, sebuah pola yang jelas akan dapat dilihat yang menunjukkan laboratorium yang mempunyai kemampuan dalam melaksanakan penyelidikan. Pada kasus yang sangat jarang, dimana terdapat lebih dari satu



laboratorium yang memenuhi persyaratan secara memuaskan, maka biaya dan jaraknya ke lokasi proyek merupakan faktor utama yang menentukan dalam mengambil keputusan akhir dalam memilih sebuah laboratorium yang akan digunakan.

Proses pemilihan laboratorium sebagaimana dijelaskan di atas, merupakan suatu proses yang cukup panjang, karena membutuhkan pengumpulan dan evaluasi terhadap sejumlah data yang cukup banyak. Jika tingkat kepentingan dari proyek mengharuskan adanya evaluasi terhadap sejumlah laboratorium yang tersebar pada areal geografis yang luas, paling tidak dibutuhkan waktu 10 minggu untuk menyelesaikan proses tersebut, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2-9; untuk proyek yang tingkat kepentingannya relatif lebih kecil, perkiraan jadwal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2-9 dapat dibuat lebih singkat.

Jenis Pengujian	Peralatan yang Ada	Adanya Dokumentasi untuk Metode Pengujian		Teknisi Pengawas	Teknisi	Disetujui Oleh:	
		Ya	Tidak			Data Pengujian	Analisis Data
1. Uji klasifikasi: Kadar Air Distribusi Ukuran Butir Berat Jenis Batas Atterberg Baling Laboratorium Kadar Organik (Hilang Pijar) Berat Isi Curah Gambut Kadar Serat Gambut							
2. Uji Kimia: Kadar Organik (Oksidasi dikromat) Ekstraksi air pori dan Pengukuran Salinitas Konduktivitas pH gambut pH tanah Kadar Karbonat Kadar Klorida Kadar Sulfat							
3. Uji Kuat Geser: Uji Tekan Bebas Uji Geser Langsung Triaksial UU Triaksial CU Triaksial CD							
4. Uji Konsolidasi: Uji Konsolidasi Satu Dimensi Sel Hidrolik (Sel Rowe)							
5. Uji Permeabilitas							

**Gambar 2-6** Evaluasi terhadap Kemampuan Kontrol Pengujian dan Pengawasan selama Peninjauan Laboratorium

Pemeringkatan Laboratorium Berdasarkan :	Peringkat			Keterangan
	A	B	C	
1. Akreditasi atau pengakuan lainnya tentang kemampuan pengujian				
2. Manajemen laboratorium dan organisasi				
3. Tipe pengguna jasa				
4. Penempatan secara umum dan kecukupan fasilitas laboratorium seperti lantai yang luas, ruangan-ruangan khusus, meja kerja, dan lain-lain				
5. Ketersediaan dan kecocokan dari fasilitas penyimpanan contoh tanah				
6. Ketersediaan dari ruangan dengan temperatur dan kelembaban yang terkontrol				
7. Kemampuan untuk melakukan seluruh uji klasifikasi (peralatan dan personil)				
8. Kemampuan untuk melakukan seluruh uji kimia (peralatan dan personil)				
9. Kemampuan untuk melakukan seluruh uji kuat geser (peralatan dan personil)				
10. Kemampuan untuk melakukan seluruh uji konsolidasi (peralatan dan personil)				
11. Kecukupan atas pengaturan untuk penyimpanan dan pengeluaran atas catatan data pengujian				
12. Kecukupan atas pengaturan untuk penyimpanan dan pengeluaran atas catatan analisis data				
13. Kecukupan atas pengaturan untuk cek silang atas keakuratan data dan analisis data				
14. Kecukupan atas pengaturan untuk melakukan kalibrasi dan pemeliharaan peralatan				
15. Kecukupan atas pengaturan untuk penyimpanan kalibrasi peralatan dan jadwal pemeliharaan				
16. Pengalaman sebelumnya dalam melakukan pengujian pada tanah lunak organik				
17. Pengalaman sebelumnya dalam melakukan pengujian pada gambut				
18. Peralatan khusus yang ada untuk pengujian tanah lunak organik untuk uji: klasifikasi kimia kuat geser kompresibilitas				
19. Peralatan khusus yang ada untuk pengujian gambut untuk uji: klasifikasi kimia kuat geser kompresibilitas				

**Gambar 2-7** Kriteria untuk Pemeringkatan Kemampuan Pengujian dari Laboratorium

Kriteria No. (Dari Gambar 2.7)	Identifikasi Laboratorium				Keterangan
	L1	L2	L3	Dst	
	Peringkat				
1				dst	
2				dst	
3				dst	
Dst				dst	

**Gambar 2-8** Kesimpulan dari Peringkat yang Diberikan untuk Kriteria sebagaimana Tercantum pada Gambar 2-7

Pertimbangan juga harus diberikan terhadap interval waktu antara identifikasi atas kecocokan laboratorium yang mampu dengan penandatanganan kontrak. Akan sulit untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan seluruh kegiatan ini, tapi waktu antara 10-12 minggu akan cukup memadai. Oleh karena itu dalam sebuah proyek yang dipandang penting, waktu yang diperlukan mulai dari permulaan proses pemilihan laboratorium hingga ke penandatanganan kontrak umumnya berkisar antara 5-6 bulan.

Bila suatu daerah proses pemilihan laboratorium yang menyeluruh telah selesai untuk suatu daerah tertentu, hasil dari evaluasi dapat digunakan untuk proyek akan datang, yang memiliki tipe yang sama dan terletak pada daerah yang sama. Meskipun demikian, sebuah evaluasi tetap masih harus dilakukan untuk setiap proyek, misalnya dengan tingkat yang lebih kecil dibanding dengan evaluasi yang sama yang pertama kali dilakukan; dan seiring dengan perjalanan waktu, mungkin saja kemampuan pengujian dari beberapa laboratorium telah mengalami peningkatan atau malahan mengalami kemunduran (memburuk).

Jadwal dari penyelidikan lapangan harus mencakup waktu yang dibutuhkan untuk memilih dan menunjuk laboratorium yang akan melakukan pengujian. Jadwal tersebut juga harus dibuat sedemikian rupa sehingga manajemen laboratorium memiliki waktu yang cukup untuk memberikan masukan yang diperlukan dalam penyusunan rencana penyelidikan lapangan yang lebih detail.

Kegiatan	Minggu ke:													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Permintaan dan penerimaan informasi seperti yang terdapat pada Gambar 2.3	■	■	■											
2. Analisis terhadap balasan dan membuat daftar laboratorium yang akan ditinjau			■	■	■									
3. Pemeriksaan Laboratorium					■	■	■	■						
4. Evaluasi terhadap data yang didapat selama pemeriksaan laboratorium							■	■	■	■				
5. Identifikasi terhadap sebuah laboratorium atau lebih yang cocok										■	■			

**Gambar 2-9** Estimasi Waktu yang Dibutuhkan untuk Melakukan Proses Seleksi Laboratorium yang Menyeluruh (Komprehensif)

## 2.7 PENGENDALIAN MUTU

Persyaratan sistem mutu sebagaimana tertuang dalam ASTM D3740-92 disimpulkan dalam Bab 2.3.7. Untuk kepentingan akreditasi, sebuah

laboratorium umumnya disyaratkan untuk memiliki manual mutu yang tertulis yang menggambarkan secara detil sistem jaminan mutunya. Karena Panduan Geoteknik ini tidak membicarakan masalah evaluasi laboratorium untuk tujuan akreditasi, tetapi lebih menekankan pada pemberian pedoman untuk melakukan evaluasi atas kemampuan suatu laboratorium dalam memberikan pelayanan sebagaimana yang dibutuhkan secara memuaskan, sebuah manual mutu, yang tentunya akan bermanfaat, bukan merupakan persyaratan yang esensial. *Walaupun demikian, perlu kiranya ditunjuk seorang staf laboratorium yang senior yang memiliki akses langsung ke pucuk pimpinan dari laboratorium, sebagai orang yang bertanggungjawab terhadap pengendalian mutu.*

Prinsip-prinsip dari sebuah Sistem Jaminan Mutu yang dikembangkan pada Tahap 1 dari Proyek INDON-GMC di Puslitbang Prasarana Transportasi Bandung adalah sebagai berikut:

- mutu yang baik, peralatan terpelihara baik mulai dari yang paling rumit sampai ke peralatan yang paling sederhana,
- kalibrasi dan pemeriksaan yang teratur dari setiap unit peralatan,
- prosedur pengujian yang jelas untuk setiap kegiatan mulai dari yang paling rumit sampai yang paling sederhana,
- teknisi yang terlatih yang secara ketat selalu mengikuti seluruh prosedur pengujian,
- pencatatan yang detil dan akurat dari semua data pengujian,
- penyimpanan arsip yang teliti dari semua data pengujian pada satu lokasi/tempat,
- analisis yang cepat dan tepat/akurat dari data pengujian pada satu lokasi,
- untuk memperkecil dan mengontrol kesalahan yang terjadi, cek silang harus dilakukan secara cepat, dan sebanyak mungkin melakukan cek silang untuk memperkecil dan mengontrol/berkembangnya kesalahan yang terjadi.

Setelah Ahli Geoteknik yang Ditunjuk menyelesaikan inspeksinya terhadap laboratorium yang sudah terdaftar dan mengevaluasi data-data mengenai laboratorium tersebut seperti tercantum pada Gambar 2-3 hingga 2-7, ia harus memiliki informasi yang cukup untuk memutuskan sejauh mana dari Sistem Jaminan Mutu tersebut di atas, harus diikuti ke dalam praktek kerja laboratorium yang sedang dievaluasi tersebut.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut juga harus mengunjungi laboratorium pengujian tersebut sesering mungkin untuk memastikan bahwa program pengujian yang dibuat dilaksanakan secara memuaskan. Ia harus pula memelihara hubungan yang baik dengan manajer laboratorium setiap saat sehingga jika ada permasalahan yang timbul dapat dipecahkan dengan segera. Untuk kepentingan pencatatan dan untuk menjaga kontrol terhadap kualitas, formulir yang terdapat pada Gambar 2-10 harus diisi untuk setiap tipe pengujian yang dilakukan.

<b>Laboratorium</b>			
<b>Proyek</b>			
<b>Jenis Pengujian</b> :			
<b>Metode</b> :			
<b>Pengujian</b> :			
<b>Tanggal</b>			
<b>Hal :</b>	<b>Mengetahui dan Menyetujui</b>		
	<b>Teknisi</b>	<b>Teknisi Pengawas</b>	<b>Manajer Laboratorium</b>
1. Semua peralatan lengkap dan terawat dengan baik			
2. Peralatan yang terpasang dicatat/direkam			
3. Sertifikat kalibrasi ada dan salinannya terlampir			
4. Formulir prosedur pengujian ada dan telah dibaca dan dimengerti oleh semua personil			
5. Formulir pencatatan data pengujian ada dan telah dibaca dan dimengerti oleh semua personil			
6. Formulir analisis data pengujian ada dan telah dibaca dan dimengerti oleh semua personil			

**Gambar 2-10** Pemeriksaan Mutu untuk Prosedur dan Peralatan Pengujian Laboratorium

### 2.7.1

## Urutan Penanganan Contoh Tanah

Salah satu komponen dari pengendalian mutu yang penting adalah menjaga kesatuan dari penjagaan contoh tanah mulai dari pengambilan contoh tanah sampai pengiriman, penerimaan, pengujian dan analisis. Laboratorium mungkin telah menjalankan sebuah sistem yang dianggap cukup memuaskan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Meskipun demikian, jika sistem tersebut dipandang tidak memadai maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut harus menerapkan sebuah sistem yang dapat mendokumentasi kemajuan contoh dari berbagai tahapan proses penyelidikan lapangan. Sebuah sistem yang disarankan untuk tujuan ini dijelaskan pada bagian berikut.

Metode penomoran lubang bor dan contoh serta labelisasi tabung contoh harus distandarkan dan dinyatakan dalam instruksi tertulis yang diberikan pada tim yang melaksanakan penyelidikan lapangan dan laboratorium.

Contoh tanah yang tiba di laboratorium dari lapangan harus disertai dengan sebuah Formulir Pengiriman Contoh, FPC dan Formulir Pencatatan Pemboran Harian, FPPH yang sesuai. Contoh format yang diusulkan untuk FPC dan FPPH ditunjukkan masing-masing pada Gambar 2-11 dan 2-12. Jika tak ada formulir FPC yang telah baku, maka manajer laboratorium harus membuat sebuah formulir yang berfungsi sama dengan formulir FPC tersebut dan dipahami oleh manajer lapangan.

Segera setelah contoh tanah diterima di laboratorium Formulir Pemeriksaan Contoh, FPmC harus diisi dan dicatat ke dalam Catatan Pemeriksaan Contoh. Contoh formulir/lembar untuk ini diberikan pada Gambar 2-13. Formulir tersebut dicetak dan digunakan untuk tabung contoh tapi formulir yang sama juga dapat digunakan untuk contoh blok maupun contoh tak terganggu.

*Formulir Pemeriksaan Contoh tersebut harus dibuat untuk setiap contoh tanah yang masuk ke laboratorium.* Nomor formulir FPmC dicatat pada Formulir FPC di kolom “No Lembar Pemeriksaan Contoh”. Manajer laboratorium harus mengirim salinan dari formulir FPC yang dilengkapi dengan catatan pemboran masing-masing kepada manajer lapangan untuk dimasukkan dalam laporan penyelidikan lapangan.

Ketika mengisi formulir FPmC ini, manajer laboratorium atau teknisi pengawas harus memperhatikan secara seksama bagian penyegelan dengan parafin yang digunakan pada tabung contoh. Setiap kerusakan yang terjadi pada bagian tersebut harus dicatat pada formulir FPmC dan kerusakan tersebut harus segera diperbaiki. Formulir FPmC ini juga harus mencatat setiap gangguan yang muncul atau karakteristik yang tak lazim pada contoh tanah.

Nomor formulir FPmC harus dicatat pula pada formulir catatan data pengujian dan formulir analisis data pengujian.

<h2>FORMULIR PENGIRIMAN CONTOH (FPC)</h2>					
Proyek : <input style="width: 150px;" type="text"/>		Lokasi : <input style="width: 100px;" type="text"/>		No. Lubang : <input style="width: 80px;" type="text"/>	
				No. Formulir : <input style="width: 100px;" type="text"/>	
No. Contoh Tanah	Tipe Pengambilan Contoh Tanah	Pemeriksaan Lapangan	Pemeriksaan Laboratorium	No. Formulir Pemeriksaan Contoh	Keterangan

Manajer Lapangan	Tanggal :	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Tanda Tangan :	<input style="width: 100%;" type="text"/>
Manajer Laboratorium	Tanggal :	<input style="width: 100%;" type="text"/>	Tanda Tangan :	<input style="width: 100%;" type="text"/>

**Gambar 2-11**

## Formulir Pencatatan Pemboran Harian (FPPH)

Daerah :		Lokasi :		Lubang Bor	
Mesin Bor				Tanggal	
Metode Pemboran				No. Formulir	
Diameter					

### Pencatatan Lapisan

Dari	Sampai Dengan	Pipa Lindung	Pemeriksaan

### Pengambilan Contoh Tanah

Dari	Sampai Dengan	Jumlah	Tipe

Dari	Sampai Dengan	Jumlah	Tipe

Air

Waktu					
Kedalaman Pengambilan Contoh Tanah					
Kedalaman Lubang					
Kedalaman terhadap Muka Air					

Pipa Ukur Tegak

Kedalaman	
Tipe	

Keterangan :

Nama Kru

Cuaca

**Gambar 2-12** Formulir Pencatatan Pengeboran Harian, FPPH



PROYEK  
NO. LUBANG BOR

LOKASI  
NO. CONTOH TANAH

KEDALAMAN CONTOH : ..... m to ..... m  
 PEMULIHAN INTI : ..... %  
 KEPADATAN CURAH  
 (MM) : ..... g/cm<sup>3</sup>

MASSA TABUNG + CONTOH + LILIN	=	..... g
MASSA LILIN	=	..... g
MASSA TABUNG + CONTOH	=	..... g
MASSA TABUNG (No. ....)	=	..... g
MASSA CONTOH (M)	=	..... g
PANJANG TABUNG	=	..... cm
JARAK KOSONG	=	..... cm
PANJANG CONTOH (L)	=	..... cm
LUAS PERMUKAAN CONTOH (A)	=	..... cm <sup>2</sup>
VOLUME CONTOH (V) = L X A	=	..... cm <sup>3</sup>

## JENIS PENGUJIAN

0 cm

10

20

30

40

50

60

**KETERANGAN :**

**DITANDATANGANI**

MANAJER LABORATORIUM

26

## 3 Perencanaan Program Pengujian Laboratorium

### 3.1 PENDAHULUAN

Tujuan penyelidikan lapangan telah dijabarkan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk sesuai dengan persyaratan yang diterangkan pada Panduan Geoteknik 2.

### 3.2 PENGEMBANGAN PROGRAM PENGUJIAN AWAL LABORATORIUM

Uji laboratorium yang dilakukan pada tanah dibahas pada Bab 4. Pengujian dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- uji klasifikasi,
- uji kimia,
- uji kuat geser,
- uji kompresibilitas,
- uji permeabilitas.

AASHTO (1988) menyusun daftar pengujian yang penting bagi seorang ahli geoteknik *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.

Catatan diberikan oleh penulis Manual AASHTO tersebut bahwa *“pengujian yang rumit dan mahal hanya dibenarkan jika data yang didapat dapat mengurangi biaya atau resiko keruntuhan yang menyebabkan pengeluaran biaya yang lebih besar lagi; umumnya, pada pengujian yang dilakukan dengan hati-hati terhadap contoh yang dipilih yang mencakup sifat tanah yang hasilnya yang dikorelasikan dengan klasifikasi atau tes indeks, akan memberikan data yang baik yang dapat digunakan”*.

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.

Jika sebuah proyek diputuskan merupakan proyek yang tidak terlalu penting, seperti misalnya proyek jalan kecil dengan lalu lintas yang relatif kecil, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk dapat saja memutuskan bahwa akan cukup akurat untuk mendapatkan parameter tanah yang lain, hanya berdasarkan pada korelasi yang telah ada dengan data klasifikasi (lihat Bab 7), dan sudah cukup memadai hanya dengan melakukan pengujian terbatas untuk memeriksa validitas dari korelasi yang digunakan tersebut.

Pada proyek yang dianggap lebih penting, lingkup penyelidikan perlu diperluas dengan memasukkan uji kuat geser, permeabilitas dan kompresibilitas. Jenis pengujian yang dilakukan bergantung pada masukan data yang dibutuhkan untuk analisis kestabilan fondasi, daya dukung dan penurunan. Seorang ahli geoteknik harus memutuskan pada kedalaman berapa sampel harus diambil dan menentukan parameter pengujian laboratorium apa yang konsisten dengan kedalaman tersebut, misalnya/seperti parameter uji yang mewakili tegangan di lapangan dan kondisi kadar airnya (lihat Bab 4.6).

Uji kimia dilakukan utamanya untuk menilai agresivitas dari tanah dan air tanah, terhadap beton dan baja yang umumnya tidak perlu dilakukan, kecuali bila ada kegiatan pemasangan di bawah permukaan, seperti tiang pancang, gorong-gorong dan sebagainya. Meskipun demikian, kadar karbonat harus diuji, karena kadar karbonat ini akan dapat mempengaruhi hasil penentuan kadar organik, bila metode *hilang pijar* yang digunakan (lihat Bab 4.2.6.3).

Skedul uji laboratorium harus dipersiapkan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk sesuai dengan contoh yang diperlihatkan pada Gambar 3-1.

Nama Laboratorium \_\_\_\_\_

BH	No Contoh Tanah	Kedalaman (m)	Unit Tanah Awal	Kadar Air	LL/PL	Berat Isi Asli	Berat Jenis	Organik	PSD	Hidro-meter	Baling Lab	Triaksial [1]			Geser Langsung [1]	Konsolidasi Odometer [1]	Per m. [1]	pH	SO <sub>4</sub>	CO <sub>3</sub>	
												UU	CU	CD							

[1] parameter pengujian harus disebutkan

Proyek \_\_\_\_\_

Skedul Uji Laboratorium

No Lembar \_\_\_\_\_

**Gambar 3-1** Skedul Uji Laboratorium

## 4

## Pengujian Laboratorium

Uji laboratorium dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi geoteknik 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.

### 4.1

### KLASIFIKASI TANAH

Klasifikasi tanah terdiri dari penggolongan berbagai jenis tanah secara sistematis atas dasar karakteristik pembeda tertentu. *Unified soil classification system* (USCS) mengelompokkan tanah ke dalam tiga kelompok besar:

- berbutir kasar (lebih dari 50% tertahan pada saringan No. 200),
- berbutir halus (kurang dari 50% tertahan pada saringan No. 200); kelompok ini dibagi lagi menjadi lempung dan lanau inorganik,
- sangat organik (kegambut-gambutan).

Tanah berbutir kasar dan berbutir halus diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir dan gradasi, batas cair, indeks plastisitas dan keberadaan zat organik; tanah dalam klasifikasi 'Sangat Organik' diklasifikasikan sebagai 'gambut'.

ASTM D2487-93 menguraikan prosedur untuk mengklasifikasi tanah sesuai dengan USCS. Prosedur untuk mengklasifikasi lempung dan lanau inorganik dan lempung dan lanau organik diuraikan pada Bagian 4.1.1. ASTM D4427-92 menjelaskan klasifikasi standar untuk contoh gambut dengan pengujian laboratorium dan ringkasan prosedur tersebut diberikan pada Bagian 4.1.2. Pengujian yang dilakukan pada material-material ini untuk klasifikasi dan tujuan lainnya, dibahas pada bagian berikutnya.

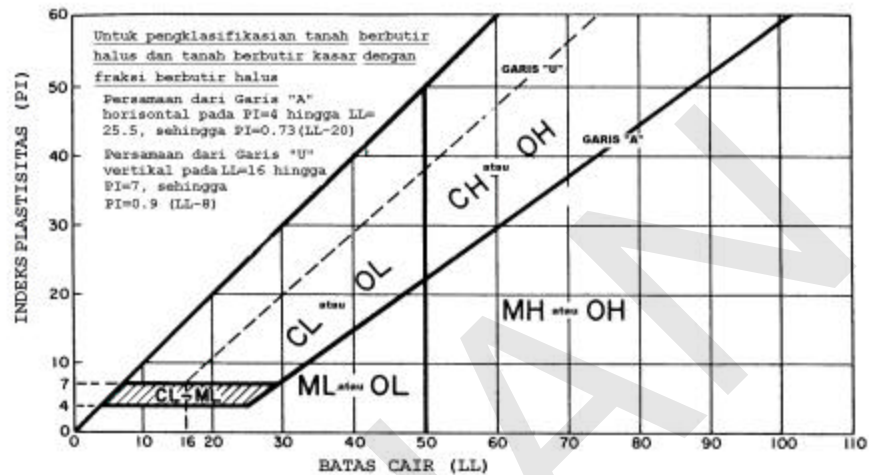
#### 4.1.1

#### Klasifikasi Lempung Organik dan Inorganik

Bila tanah diklasifikasikan mengikuti USCS (ASTM D2487-93), maka harus dilakukan pemerataan pada nilai batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI), pada suatu 'grafik plastisitas' seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1. Ciri utama dari grafik ini adalah bagian garis "A" yang horisontal pada  $PI = 4$  sampai  $LL = 25.5$  dan garis yang mempunyai persamaan:  $PI = 0.73(LL - 20)$ .

Lempung dan lanau didefinisikan pada ASTM D2487-93 sebagai tanah yang lolos saringan No. 200. Lempung bisa dibuat untuk menampatkan plastisitas

pada suatu rentang kadar air dan menampakkan kekuatan yang tinggi jika kering udara; lanau nonplastis atau sedikit plastis dan memiliki sedikit atau tanpa kekuatan jika kering dengan udara. Untuk tujuan klasifikasi, lempung dan lanau, lempung organik dan lanau organik didefinisikan sebagai berikut:



**Gambar 4-1** Grafik Plastisitas

**Lempung:** tanah berbutir halus, atau berbutir halus dari bagian suatu tanah, dengan PI sama dengan atau lebih besar dari 4 dan plot terhadap LL jatuh pada atau di atas garis 'A'.

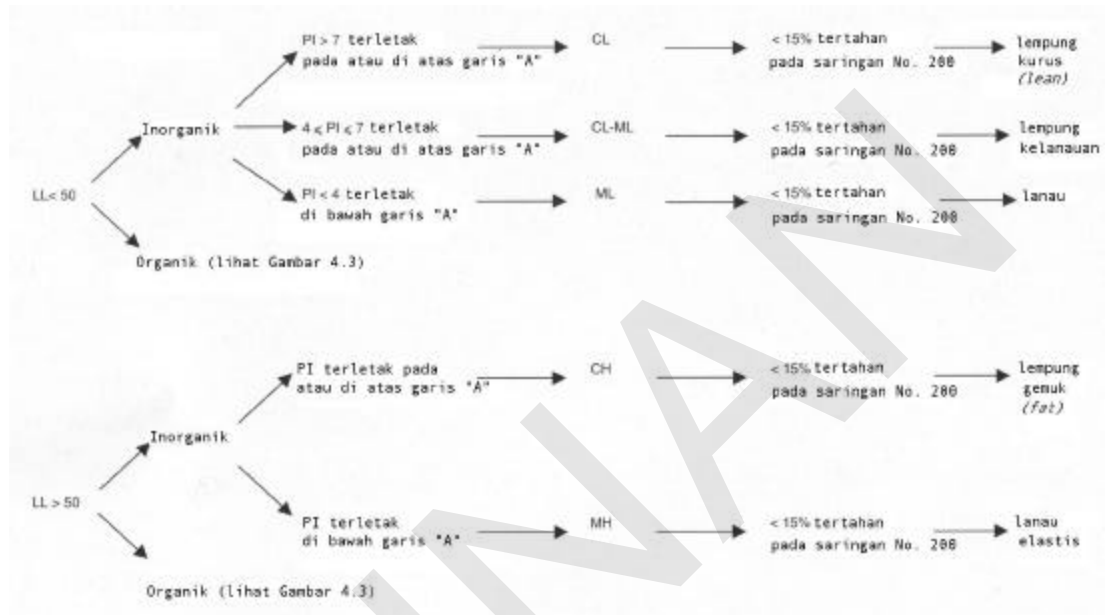
**Lanau:** tanah berbutir halus, atau porsi berbutir halus dari suatu tanah, dengan PI kurang dari 4 atau jika plot PI terhadap LL jatuh di bawah garis 'A'.

**Lempung Organik:** suatu tanah yang masuk klasifikasi lempung tapi nilai LL-nya setelah dikeringkan dengan oven kurang dari 75% dari nilai LL-nya sebelum dikeringkan dengan oven.

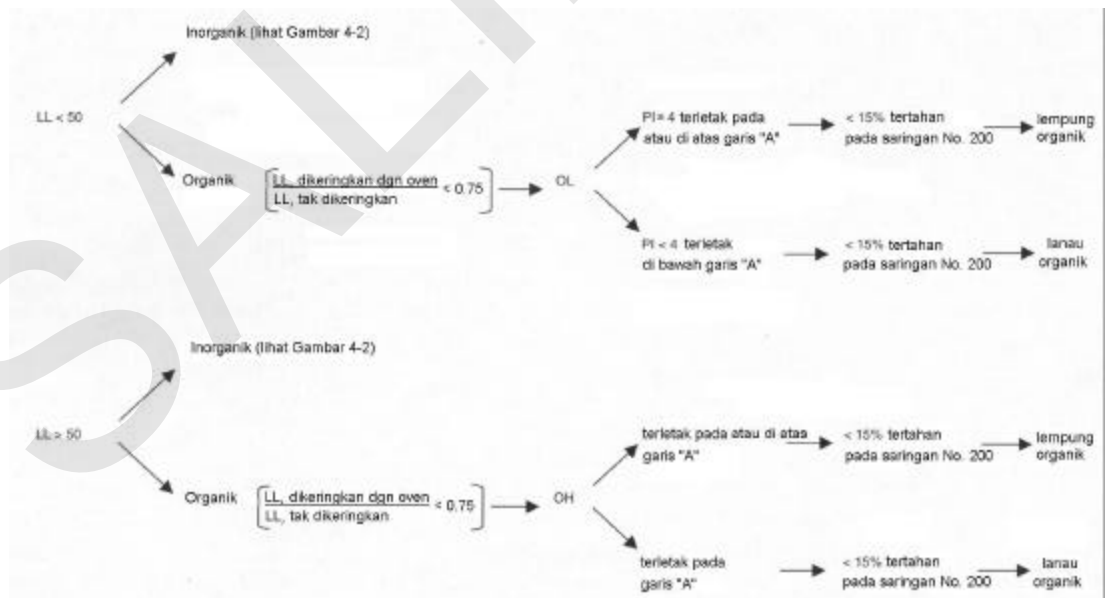
**Lanau organik:** suatu tanah yang masuk klasifikasi lanau namun nilai LL-nya setelah dikeringkan dengan oven kurang dari 75% dari nilai LL-nya sebelum dikeringkan dengan oven.

Bila tanah berwarna gelap dan bau organik pada kondisi lembab dan hangat, pengujian LL kedua perlu dilakukan pada benda uji yang telah dikeringkan dengan oven pada suhu  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  sampai massa konstan, biasanya satu malam.

Bagan alir diberikan dalam ASTM D2487-93 untuk mengklasifikasikan tanah berbutir halus yang didefinisikan sebagai organik atau inorganik berdasarkan kriteria LL seperti dijelaskan di atas. Bagan alir prosedur yang disederhanakan untuk mengklasifikasikan lempung dan lanau inorganik dan lempung dan lanau organik diperlihatkan, masing-masing, pada Gambar 4-2 dan 4-3.



Gambar 4-2 Bagan Alir yang Disederhanakan untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Inorganik



Gambar 4-3 Bagan Alir yang Disederhanakan untuk Mengklasifikasikan Lempung dan Lanau Organik

### ***Lempung Inorganik***

- tanah masuk lempung inorganik jika pemerataan PI terhadap LL jatuh pada atau di atas garis 'A', PI-nya lebih besar dari 4 dan kadar organik tidak mempengaruhi LL sebagaimana dijelaskan sebelumnya,
- jika LL kurang dari 50, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai lempung kurus (*lean*) dan diberi Simbol Grup CL,
- jika LL sama dengan atau lebih dari 50, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai lempung *gemuk (fat)* dan diberi Simbol Grup CH,
- jika pemerataan PI terhadap LL jatuh pada atau di atas garis 'A' dan PI berkisar antara 4 sampai 7, tanah tersebut diklasifikasikan sebagai lempung kelanauan dan diberi Simbol Grup CL-ML.

### ***Lanau Inorganik***

- tanah diklasifikasikan sebagai lanau inorganik jika pemerataan PI terhadap LL jatuh di bawah garis 'A' atau PI kurang dari 4 dan kadar organik tidak mempengaruhi LL sebagaimana dibahas sebelumnya,
- tanah diklasifikasikan sebagai lanau dan diberi Simbol Grup ML jika LL kurang dari 50,
- tanah diklasifikasikan sebagai lanau elastis dan diberi Simbol Grup MH bila LL sama dengan 50 atau lebih besar.

### ***Lempung dan Lanau Organik (seperti didefinisikan sebelumnya)***

#### ***Simbol Grup OL***

- tanah diklasifikasikan sebagai lempung organik atau lanau organik, dan diberi Simbol Grup OL, jika LL (tidak dikeringkan dengan oven) kurang dari 50,
- tanah diklasifikasikan sebagai lempung organik (OL) jika PI sama dengan 4 atau lebih dan pemerataan PI terhadap LL jatuh pada atau di atas garis 'A',
- tanah diklasifikasikan sebagai lanau organik (OL) jika PI kurang dari 4 atau pemerataan PI terhadap LL jatuh di bawah garis 'A'.

#### ***Simbol Organic OH***

- tanah diklasifikasikan sebagai lempung organik atau lanau organik, dan diberi Simbol Grup OH, jika LL (tidak dikeringkan dengan oven) sama dengan 50 atau lebih besar,
- tanah diklasifikasikan sebagai lempung organik (OH) jika pemerataan PI terhadap LL jatuh pada atau di bawah garis 'A',
- tanah diklasifikasikan sebagai lanau organik (OH), jika pemerataan PI terhadap LL jatuh di bawah garis 'A'.



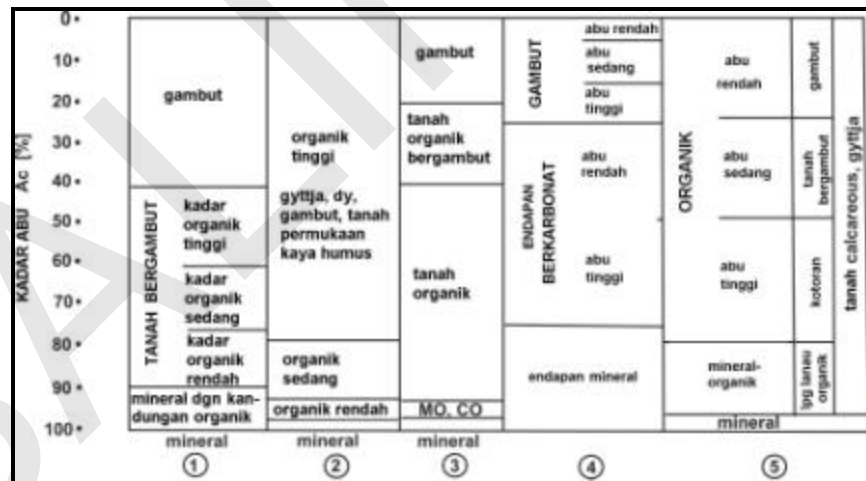
#### 4.1.2

### Klasifikasi Gambut

Pada sistem USCS, tanah kelompok 'Sangat Organik' (terutama bahan organik, berwarna gelap, dan bau organik) diberi Simbol Grup PT dan Nama Grup 'Gambut'; tidak ada pembagian lebih lanjut terhadap tanah ini.

Sistem klasifikasi untuk gambut dan tanah organik telah dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan yang berbeda-beda oleh berbagai kalangan yang terlibat, contohnya, pertanian, sumber minyak bumi, rekayasa geoteknik. Sementara terdapat pendapat yang berlainan mengenai definisi gambut dan tanah organik, semua sistem didasarkan pada kandungan bahan organik, seperti ditunjukkan oleh kandungan abu. Perbedaan pendapat dalam rekayasa geoteknik mengenai definisi gambut dan tanah organik diilustrasikan pada Gambar 4-4, dimana klasifikasi yang digunakan atau disarankan untuk digunakan pada rekayasa geoteknik di berbagai negara dibandingkan berdasarkan kandungan abu (lihat Bagian 4.2.7). Negara-negara yang sistemnya dibandingkan adalah:

- 1) Rusia,
- 2) Swedia,
- 3) Kanada ,
- 4) AS,
- 5) Polandia .



**Gambar 4-4** Perbandingan Beberapa Sistem Klasifikasi untuk Tanah Organik berdasarkan Kandungan Abu (Wolski seperti dilaporkan oleh Larsson, 1996)

Klasifikasi standar contoh gambut dengan pengujian laboratorium diberikan pada ASTM D4427-92. Parameter yang dipilih untuk pengklasifikasian dinyatakan sebagai "yang telah ditentukan yang ada hubungannya dengan pertanian/hortikultural, geoteknik, dan pemanfaatan gambut untuk energi".

Pada metode ini, gambut didefinisikan sebagai zat sangat organik yang terbentuk secara alami yang dibedakan dari bahan tanah organik lainnya berdasarkan kandungan abunya yang rendah (kurang dari 25 persen berat kering) seperti didefinisikan oleh *Metode C (Kadar Abu)*, ASTM D2974-87. Kandungan abu ditentukan melalui pembakaran contoh tanah dari penentuan kadar air kering oven di tungku bakar pada suhu 440°C.

Gambut diklasifikasikan berdasarkan:

- kadar serat (ASTM D1997-91),
- kadar abu (ASTM D2974-87),
- keasaman (ASTM D2976-71, disetujui kembali 1990),
- penyerapan (ASTM D2980-71, disetujui 1990),
- komposisi tumbuh-tumbuhan (jika diperlukan).

Kadar serat dan des kripsi gambut yang sesuai adalah sebagai berikut:

Fibrik : gambut dengan serat yang lebih besar dari 67 persen,

Hemik: gambut dengan serat antara 33 dan 67 persen,

Saprik: gambut dengan serat kurang dari 33 persen.

Kategori kadar serat bisa dihubungkan dengan pengamatan lapangan von Post terhadap derajat pembusukan (H): dimana fibrik bila berada pada rentang H<sub>1</sub>-H<sub>3</sub>, hemik pada rentang H<sub>4</sub>-H<sub>6</sub> dan saprik pada rentang H<sub>7</sub>-H<sub>10</sub>. Untuk keperluan klasifikasi, serat didefinisikan sebagai fragmen atau potongan jaringan tanaman yang masih memperlihatkan struktur sel yang bisa dikenali dan cukup besar untuk tertahan pada saringan 100 (bukaan 0,15 mm); sementara bahan tumbuhan yang lebih besar dari 20 mm pada dimensi yang paling kecil sementara dianggap sebagai serat.

Berdasarkan kadar abunya, gambut diklasifikasikan sebagai:

- |            |   |                                     |
|------------|---|-------------------------------------|
| abu rendah | - | gambut dengan abu kurang dari 5%,   |
| abu medium | - | gambut dengan abu antara 5 dan 15%, |
| abu tinggi | - | gambut dengan abu lebih dari 15%.   |

Ingat bahwa kadar bahan organik (%) adalah sama dengan 100 kadar abu (%).

## 4.2

## PENGUJIAN INDEKS YANG DILAKUKAN UNTUK TUJUAN KLASIFIKASI DAN TUJUAN LAINNYA

Semua pengujian harus dilakukan dengan mengikuti sepenuhnya metode uji yang standar yang dispesifikasikan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Penyimpangan dari suatu standar *harus disetujui secara tertulis* oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk dan alasan penyimpangannya dinyatakan dengan jelas.

### 4.2.1

#### Kadar Air Asli

Kadar air adalah sifat tanah yang penting. Kadar air digunakan untuk menentukan korelasi antara perilaku tanah dan sifat-sifatnya, untuk menyatakan hubungan fase udara, air dan padat pada suatu volume bahan dan untuk menyatakan konsistensi relatif tanah kohesif dalam bentuk Indeks Likuiditas (lihat Bagian 4.2.5.1).

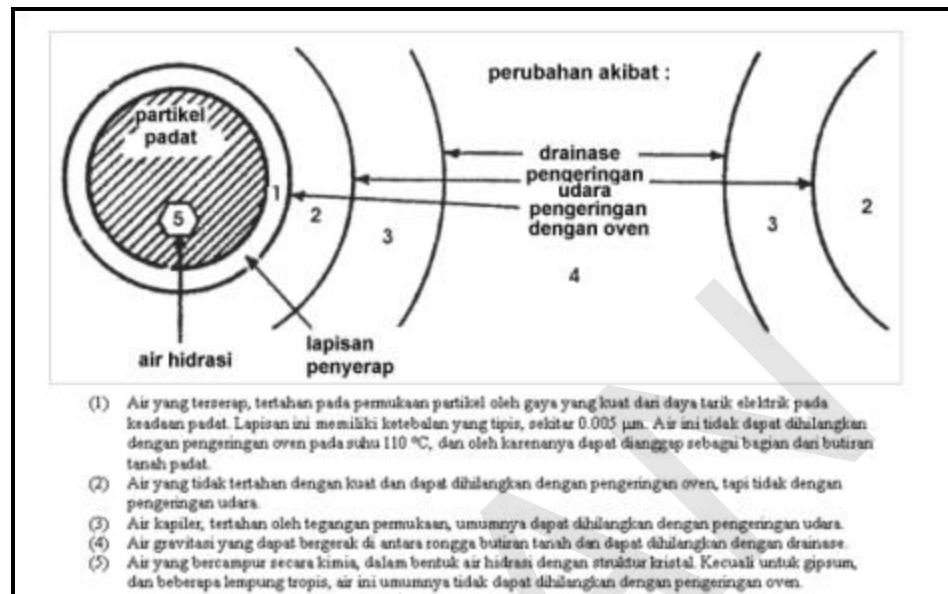
ASTM D2216-92 menjelaskan suatu metode untuk menentukan kadar air tanah dan batuan di laboratorium. Pada metode ini, kadar air adalah perbandingan antara massa air 'pori' atau 'bebas' pada suatu massa material terhadap massa material padat, yang dinyatakan sebagai persentase.

Suhu pengeringan standar pada metoda ini adalah 110°C, dan ada catatan yang perlu diperhatikan dalam metode ini bahwa :

- beberapa material organik mungkin mengalami pembusukan akibat pengeringan dengan oven pada temperatur pengeringan standar,
- bahan-bahan yang mengandung gipsium mungkin mengalami dehidrasi.

Dengan alasan di atas, pengeringan dengan oven bahan-bahan tersebut lebih baik dilakukan pada suhu 60°C atau mengeringkannya dalam suatu desikator pada temperatur ruangan. Namun, seperti ditunjukkan oleh metode tersebut, jika temperatur pengeringan yang digunakan berbeda dari temperatur pengeringan standar (110°C), kadar air yang dihasilkannya bisa berbeda apabila dibandingkan dengan kadar air standar yang ditentukan pada suhu pengeringan standar.

Kategori air yang mengelilingi suatu partikel diperlihatkan pada Gambar 4-5.



**Gambar 4-5** Gambaran Kategori Air yang Mengelilingi Partikel-partikel Lempung (Head, 1984)

Air pada kategori (1) tidak ikut diperhitungkan pada penentuan kadar air; kemungkinan air kategori (5) adalah salah satu alasan untuk menghindari pengeringan dengan oven untuk tanah-tanah tropis. Mengenai suhu oven yang digunakan untuk penentuan kadar air, Head (1984) menyebutkan bahwa untuk gambut dan tanah yang mengandung bahan organik, suhu pengeringan lebih baik dilakukan pada suhu 60 $^{\circ}\text{C}$ .

Pada umumnya perlu disadari bahwa pengeringan dengan oven adalah suatu perlakuan yang keras sehingga mengakibatkan reaksi yang tidak dapat kembali untuk kebanyakan tanah; bila suatu tanah yang lembab dikeringkan dengan oven, suatu penambahan air tidak akan menghilangkan efek pemanasan yang tinggi terhadap sifat-sifat material tersebut.

Metode alternatif untuk menentukan kadar air gambut dan tanah organik lainnya, diberikan pada ASTM D2974-87 (lihat Bagian 4.2.7).

## 4.2.2 Pembagian Ukuran Butir

ASTM D422-63 menjelaskan prosedur untuk:

- analisis saringan pada tanah yang tertahan pada saringan No. 10 (2.00 mm),
- analisis sedimentasi pada tanah yang lolos saringan No. 10,
- analisis saringan pada residu yang diperoleh dengan pencucian sedimen melalui saringan No. 200 dan pengeringan material yang tertahan.

Pada analisis sedimentasi, hukum Stoke digunakan untuk menghitung diameter partikel maksimum yang tersisa di atas kedalaman tertentu setelah periode

waktu tertentu dari permulaan pengujian; massa partikel padat yang ada ditentukan melalui pengukuran kerapatan suspensi dengan hidrometer.

Suatu zat pengurai digunakan untuk meyakinkan bahwa partikel yang berlainan tetap terpisah pada suspensi dan tidak menggumpal. Zat pengurai yang dispesifikasikan adalah suatu larutan sodium heksametafosfat dengan air suling, pada konsentrasi 40 gram sodium heksametafosfat per liter larutan. Larutan yang baru harus dipersiapkan, setidaknya satu kali setiap bulan.

Suspensi tanah harus dijaga pada suhu yang konstan selama analisis sedimentasi. Bila tidak ada ruangan yang memiliki kontrol temperatur, maka bak air yang memiliki pengontrol suhu yang tipenya dijelaskan pada metode tersebut, harus digunakan. Suhu dasar untuk analisis sedimentasi adalah 20°C. Variasi temperatur yang kecil tidak akan mengakibatkan perbedaan yang berarti dipandang dari sudut praktis. Suatu prosedur untuk koreksi variasi temperatur diberikan pada metode ini.

### 4.2.3

#### Berat Jenis

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.

Pada ASTM D854-92, dua prosedur dispesifikasikan untuk melakukan pengujian berat jenis. Pada Metode A, pengujian dilakukan pada benda uji yang dikeringkan dengan oven (benda uji dikeringkan sampai mencapai massa yang konstan pada oven dengan suhu  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  dan didinginkan pada desikator). Pada Metode B, pengujian dilakukan pada benda uji yang lembab.

Pada Metode B, benda uji diuraikan dengan air suling sebelum dimasukkan ke dalam labu gelas menggunakan peralatan pengurai yang dispesifikasikan pada ASTM D422-63, untuk penguraian benda uji tanah dalam larutan sodium heksametafosfat sebelum dilakukan analisis sedimentasi.

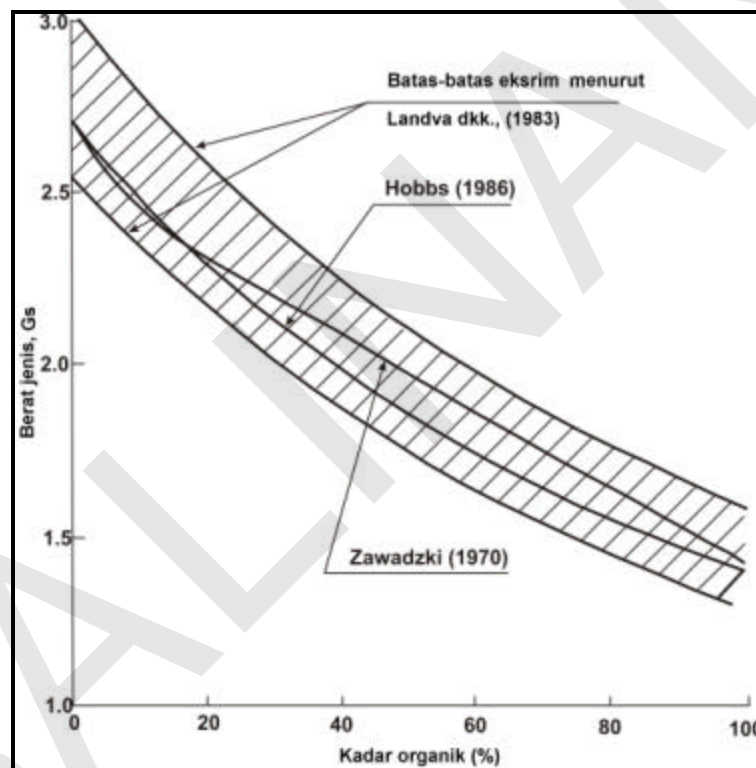
Untuk spesimen tanah organik dan tanah berbutir halus yang sangat plastis, dinyatakan bahwa Metode B 'adalah metode yang lebih disukai'. Jika berat jenis akan digunakan pada perhitungan analisis sedimentasi ASTM D422-63, pengujian berat jenis dilakukan pada porsi contoh yang lolos saringan No. 10 (2.00 mm).

Prosedur eksperimental untuk menentukan berat jenis bagian padat dari gambut diterangkan oleh Akroyd (1957). Prosedurnya meliputi contoh gambut yang telah dihancurkan dan dimasukkan ke dalam labu atau botol, ditutupi dengan kerosin yang telah disaring sehingga tidak mengandung udara, dan diberi vakum yang besar sampai gelembung udaranya berhenti keluar dari contoh. Wadah kemudian diisi dengan kerosin dan dibiarkan sampai mencapai suatu suhu yang konstan. Berat jenis ( $G_s$ ) dihitung dari persamaan:

$$G_s = \frac{\text{berat tanah kering}}{\text{berat kerosin yang terganti}} \times \text{berat jenis kerosin}$$

Berat jenis tanah gambut juga bisa diperkirakan dari hubungan empiris antara berat jenis dan kadar organik seperti terlihat pada Gambar 4-6 (Lechowicz dkk., 1996). Berat jenis gambut murni berkisar antara 1.4-1.5 dan mineral tanah yang paling sering ditemui memiliki berat jenis sekitar 2.7. Menurut Hobbs seperti dilaporkan oleh Lechowicz dkk., untuk keperluan praktis, berat jenis gambut  $G_s$  bisa diestimasi dari hubungan:

$$G_s = \frac{3.8}{((0.013) \times \text{kadar organik (\%)}) + 1.4}$$



Gambar 4-6 Berat Jenis dan Kadar Organik (Lechowicz dkk., 1996)

#### 4.2.4 Kepadatan Curah

Bab 7 BS 1377:Part 2:1990 menerangkan tiga metode penentuan kepadatan tanah.

Metode pertama berlaku untuk tanah-tanah yang bisa dibentuk menjadi bentuk geometrik yang reguler, yang volumenya bisa dihitung dari pengukuran linear. Metode kedua, volume benda uji ditentukan dengan menimbangnya dalam

keadaan terendam air. Metode ketiga, volume benda uji ditentukan dengan pemindahan air.

Dalam standar, kepadatan dinyatakan dalam bentuk kepadatan massa. Kepadatan total tanah,  $\tilde{n}$ , adalah massa per satuan volume tanah, termasuk kandungan air; kepadatan kering,  $\tilde{n}_d$ , adalah massa kering tanah yang terdapat pada satuan volume. Keduanya dinyatakan dalam  $\text{Mg/m}^3$  yang secara numerik sama dengan  $\text{g/cm}^3$  dan dihubungkan oleh persamaan:

$$\tilde{n}_d = \frac{100\tilde{n}}{100 + w}$$

dengan:

w adalah kadar air (persen).

Berat isi dinyatakan dengan  $\gamma$ , digunakan waktu menghitung gaya yang ditimbulkan oleh suatu massa tanah dan diperoleh dari kepadatan massa dengan persamaan:

$$\gamma = \tilde{n}g$$

dengan:

g adalah percepatan akibat gravitasi ( $\text{m/detik}^2$ )

Nilai  $\gamma$  (dalam  $\text{kN/m}^3$ ) secara numerik berhubungan dengan  $\tilde{n}$  (dalam  $\text{Mg/m}^3$ ) melalui persamaan:

$$\gamma = 9.807\tilde{n}$$

Prosedur yang diterangkan di ASTM D4531-86 untuk penentuan kepadatan gambut dijelaskan di Bagian 4.2.8.

#### 4.2.5

#### Bata-batas Konsistensi (Atterberg)

Berdasarkan kadar airnya, konsistensi atau fase campuran tanah-air dinyatakan sebagai *cair*, *plastis*, *semi-padat* atau *padat*, seperti diilustrasikan pada Gambar 4-7. 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.



Fase	KEADAAN PADAT	KEADAAN SEMI PADAT	KEADAAN PLASTIS	KEADAAN CAIR	SUSPENSI
Air	← Kadar air berkurang →				
Batas-batas	Tanah kering	Batas susut LL	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 (~ 170) (~ 1.7) →		Dapat diabaikan hingga nol	
Kadar Air	O	SL	PL	LL	
			← PI →		

**Gambar 4-7** Fase Tanah dan Batas-batas Atterberg (Head 1984)

Di laboratorium, pengujian LL dan PL dilakukan pada bagian tanah yang lolos saringan No. 40. LL dan PL beberapa jenis tanah berbutir halus sensitif terhadap cairan pori dan perlakuan sebelumnya (misalnya dikeringkan dengan udara, dikeringkan dengan oven atau kadar air alami) sebelum melakukan pengujian. Tanah-tanah yang sensitif terhadap pengeringan dengan oven biasanya mengandung salah satu dari berikut ini:

- bahan organik,
- kandungan monmorilonit tinggi,
- haloysit terhidrasi,
- oksida hidrat.

*Tanah organik dan tanah tropis harus selalu diuji pada kondisi asli untuk penentuan LL dan PL; tidak boleh dikeringkan dengan oven, kecuali sebagai jika pengaruh pengeringan dengan oven pada LL perlu diketahui untuk membedakan antara lanau/lempung organik dan lanau/lempung inorganik untuk tujuan klasifikasi (ASTM D2487-93).*

#### ***Uji Batas Cair***

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.



ASTM D4318-93 memberikan dua prosedur untuk mempersiapkan benda uji, prosedur *persiapan basah* dan prosedur *persiapan kering*. Pada prosedur persiapan basah, contoh yang lolos saringan No. 40 dan contoh yang mengandung material tertahan pada saringan No. 40, diperlakukan secara terpisah. Pada prosedur persiapan kering, contoh dikeringkan pada suhu ruangan atau pada oven yang suhunya tidak melewati 60°C sampai gumpalan-gumpalan tanah dapat dengan mudah untuk dihancurkan.

LL ditentukan dengan menggunakan metode banyak titik (Metode A) atau metode satu titik (Metode B).

Untuk menentukan LL banyak titik, tiga atau lebih percobaan terhadap satu seri kadar air dilakukan dan hubungan antara kadar air dan jumlah ketukan mangkuk dibuat dengan menggunakan metode grafis atau perhitungan. Jika menggunakan metoda perhitungan, maka titik-titik data yang abnormal harus diabaikan; dalam metoda satu titik digunakan data dari dua percobaan pada satu kadar air dan LL didapat dengan mengalikan satu faktor koreksi.

ASTM D4318-93 menganjurkan penggunaan metode banyak titik bila operator tidak mempunyai pengalaman dan/atau dibutuhkan presisi yang lebih tinggi; *sangat disarankan menggunakan metode banyak titik untuk jenis tanah organik dan untuk jenis tanah dari lingkungan sekitar marin.*

Alat LL harus diinspeksi secara rutin untuk mengecek apakah alat tersebut memenuhi batasan yang berlaku terhadap aus dan untuk menyetel kembali tinggi jatuh mangkuk; ceklis diberikan pada Bagian 9.0 dari standar tersebut. Air suling atau air yang *dideionisasi* harus digunakan pada waktu menyiapkan benda uji, untuk mengurangi kemungkinan pertukaran ion yang mungkin mempengaruhi hasil pengujian.

*Pada instruksi yang diberikan kepada manajer laboratorium oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk, harus secara jelas menyatakan prosedur persiapan benda uji yang harus diikuti dan metode pengujian yang akan digunakan.*

#### **Uji Batas Plastis**

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 bisa 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. Bagian dari gelengan yang hancur disimpan dalam kontainer yang telah ditimbang, yang kemudian segera ditutup. Benda uji berikutnya diambil dari 20 gram massa dan proses tersebut diulangi hingga sedikitnya didapat 6 gram tanah yang terdapat dalam kontainer. Serangkaian uji kedua dilakukan seperti

dijelaskan di atas pada 20 gram contoh yang lain untuk kontainer kedua. Kadar air yang didapati pada kontainer kemudian ditentukan dan bila perbedaan diantara kedua kadar air berada dalam rentang yang dapat diterima untuk kedua hasil tersebut, PL diambil sebagai rata-rata kedua kadar air tersebut.

PL kurang sensitif dibandingkan LL terhadap perlakuan fisik dan kimiawi dari contoh tanah. Beberapa perlakuan yang mengurangi LL secara tajam (contohnya pengeringan lempung organik atau perbaikan dengan kapur) mungkin menyebabkan sedikit pertambahan PL pada beberapa jenis tanah. *Kegunaan praktis PL bersama dengan LL adalah, memberi batas rentang kadar air di mana tanah berperilaku sebagai material plastis.*

Seperti diperlihatkan pada Tabel 4-1, kandungan bahan organik, dinyatakan pada tabel dalam kadar karbon, memiliki pengaruh yang besar pada LL dan PL; juga diperlihatkan pada tabel adalah pengaruh kenaikan kadar berukuran lempung dan kadar monmorilonit pada parameter ini.

**Tabel 4-1** Pengaruh Karbon Organik, Kadar Ukuran lempung dan monmorilonit terhadap Batas Atterberg

	Kadar Karbon %	Kadar Ukuran lempung < 0,002 mm, %	Kadar Monmorilonit, %
Rentang yang Diuji	0 - 5,5	8 - 68	0 - 90
Batas Cair (LL)	36 - 63	28 - 69	39 - 50
Batas Plastis (PL)	19 - 40	23 - 29	24 - 27
Kenaikan LL per 1% tambahan	4,9	0,7	0,12
Kenaikan PL per 1% tambahan	3,8	0,1	0,03

(Mitchell seperti dilaporkan oleh Landva dkk., 1983)

### Uji Batas Susut

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.

Pada kedua metode, uji hanya dilakukan pada bagian tanah yang lolos saringan No. 40. Hasil pengujian dari ASTM D427-93 digunakan untuk menghitung batas susut dan rasio susut. Dalam ASTM D4943-89, sifat-sifat yang dihitung dari hasil pengujian adalah batas susut, rasio susut, susut volumetrik dan susut linear.

Kehati-hatian yang harus dilakukan pada waktu penyimpanan, penanganan dan pembuangan merkuri mendapat penekanan khusus pada ASTM D427-93.

#### 4.2.5.1 Indeks Likuiditas

Indeks likuiditas (LI) didefinisikan sebagai:

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}$$

dengan:

w adalah kadar air asli

LI, yang mengindikasikan kedekatan suatu tanah asli terhadap LL (LI mendekati 1 bersamaan dengan w mendekati LL), merupakan suatu karakteristik yang menunjukkan kondisi tanah. Head (1984) berkomentar bahwa sementara LL dan PL mengindikasikan jenis lempung dari tanah kohesif, kondisi lempung yang tergantung pada kadar air yang ada hubungannya dengan batas-batas tersebut, dinyatakan dengan LI dimana sifat-sifat teknis yang menentukan kuat geser dan kompresibilitas sangat bergantung pada hubungan ini.

#### 4.2.5.2 Tingkat Keaktifan

Tingkat keaktifan (A) tanah didefinisikan oleh hubungan:

$$A = \frac{PI}{C}$$

dengan:

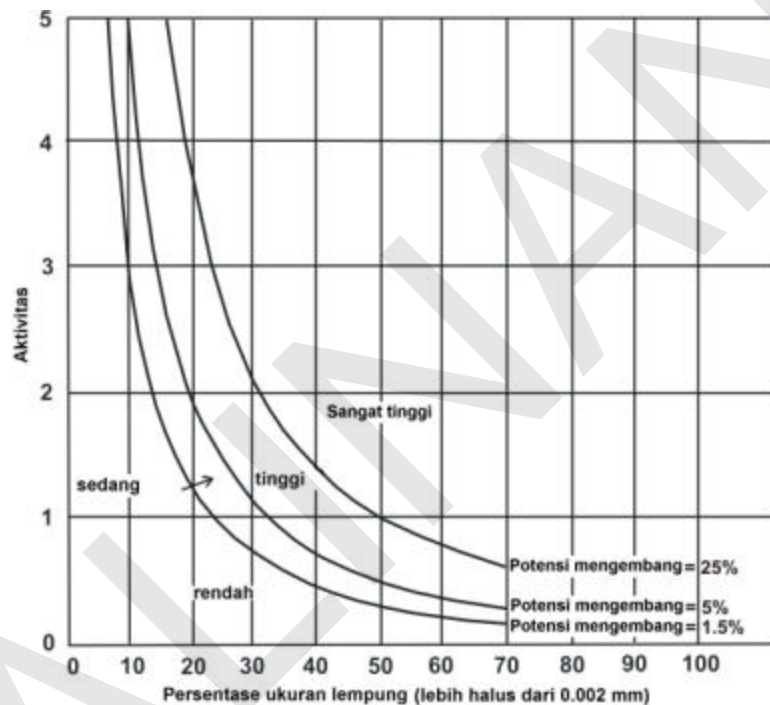
C adalah kadar lempung (persen lebih halus dari 0.002 mm)

Konsep tingkat keaktifan dikembangkan oleh Skempton (1953) yang menunjukkan bahwa untuk suatu jenis lempung tertentu, PI bergantung pada persentase partikel yang lebih halus dari 0.002 mm (C) dan bahwa angka PI/C adalah konstan; angka yang berbeda diperoleh untuk jenis lempung yang berbeda tetapi angkanya bisa dianggap konstan untuk masing-masing jenis lempung. Tingkat keaktifan relatif tanah bisa diklasifikasikan sebagai berikut:

<u>TINGKAT KEAKTIFAN</u>	<u>KLASIFIKASI</u>
< 0.75	lempung tidak aktif
0.75 – 1.25	lempung normal
1.25 – 2.00	lempung aktif
> 2.00	lempung sangat aktif

Nilai-nilai aktivitas untuk lempung berkisar dari sekitar 0,4 untuk kaolinit sampai 5 untuk monmorilonit.

Aktivitas suatu lempung bisa digunakan untuk mengevaluasi potensi pengembangan; suatu grafik yang dikembangkan oleh Seed dkk., (seperti dilaporkan oleh Krebs dan Walker, 1971) diperlihatkan pada Gambar 4-8. Pada grafik tersebut, potensi pengembangan didefinisikan sebagai persen mengembang akibat perendaman untuk suatu benda uji yang tertahan secara lateral di bawah suatu beban 1 psi (6,9 kPa) setelah dipadatkan oleh pemadatan AASHTO standar pada kadar air optimum. Jika menggunakan grafik, pembilang 'C', seperti telah dijelaskan pada definisi A, diganti dengan 'C-5'.



Gambar 4-8 Grafik Klasifikasi untuk Potensi Mengembang (Krebs dan Walker, 1971)

#### 4.2.6

#### Uji Geser Baling Laboratorium

Uji geser baling laboratorium adalah suatu prosedur yang relatif sederhana untuk menentukan kuat geser tak terdrainase tanah berbutir halus, terutama untuk lempung yang memiliki kuat geser tak terdrainase di bawah 100 kPa. Pengujian yang dilakukan pada gambut, terutama gambut berserat, mendapatkan hasil yang meragukan.

Karena baling-baling memberikan suatu sistem tegangan selama geser yang berbeda dengan mode keruntuhan yang ditemukan dalam praktek, maka pengujian ini harus dianggap sebagai suatu pengujian indeks kekuatan.

, konstanta pisau  
baling K dinyatakan dalam  $m^3$  dan nilai K diberikan untuk  $H/D = 1$  dan  $H/D = 2$ . Nilai tersebut benar untuk baling-baling tersebut, tetapi jika nilai K dibutuhkan untuk menghitung jenis baling yang lain, harus diingat bahwa faktor  $10^6$  harus dihapus dari penyebut Persamaan untuk K jika, seperti ditunjukkan, dimensi baling-baling dimasukkan dengan satuan milimeter dalam persamaan untuk K.

#### 4.2.7

#### Kadar Organik Gambut dan Tanah Organik Lainnya

Metode pengujian yang digunakan untuk menentukan kadar organik suatu tanah termasuk metode hilang pijar (*ASTM D2974-87; Clause 4, BS 1377: Part 3 : 1990*) dan metode oksidasi dichromate (*Clause 3, BS 1377: Part 3 : 1990*).

Metode hilang pijar, sebagaimana yang dispesifikasikan oleh ASTM dijelaskan pada Bagian 4.2.7.1, dan metode oksidasi dikromat pada Bagian 4.2.7.2.

#### 4.2.7.1 Metode Hilang Pijar

ASTM D2974-87 menjelaskan “*metode uji standar untuk kadar abu, dan bahwa organik untuk gambut dan tanah organik lainnya*”.

Dua metode diberikan untuk penentuan kadar air, Metode A dan Metode B. Pada Metode A, contoh gambut dan tanah organik dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C; kadar air dinyatakan sebagai persentase massa yang dikeringkan dengan oven atau massa yang diterima. Metode B digunakan jika pengujian lebih lanjut, (contoh untuk pH, pertukaran kation), akan dilakukan pada contoh tanah. Pada metode ini air dihilangkan dengan dua tahap: (i) penguapan air di udara pada suhu ruangan (kering udara) dan (ii) pengeringan dengan oven pada suhu 105°C. Pengeringan dengan udara memberikan contoh yang lebih stabil untuk pengujian tambahan; bahan untuk pengujian ini, diperoleh dengan menggerinda satu porsi contoh kering udara yang mewakili selama 1 sampai 2 menit dalam alat penggiling berkecepatan tinggi. Seperti dengan Metode A, kadar air yang ditentukan dengan menggunakan Metode B, bisa dihitung sebagai persentase massa kering oven atau persentase massa seperti yang diterima. Pada pelaporan hasil, dasar perhitungan harus dinyatakan dengan jelas.

*Penentuan kadar abu, Metode C harus digunakan untuk semua keperluan geoteknik dan klasifikasi.* Pada metode tersebut, sebagian atau semua benda uji dari contoh tanah untuk penentuan kadar air dimasukkan dalam tungku pembakaran. Suhu di dalam tungku dinaikan secara bertahap sampai 440°C dan dipertahankan sampai benda uji seluruhnya menjadi abu, yaitu tidak ada perubahan massa yang terjadi setelah satu periode pengeringan lebih lanjut. Pada saat dikeluarkan dari tungku, contoh ditutup dengan penutup kertas aluminium, didinginkan dalam desikator dan massanya diukur. Kadar abu dan kadar bahan organik dihitung sebagai berikut:

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{(\text{massa abu, gr}) \times 100}{\text{massa benda uji kering oven, gram}}$$

$$\text{Kadar bahan organik (\%)} = 100.0 - \text{Kadar abu (\%)}$$

Diasumsikan, tetapi tidak disebutkan pada metode ini, bahwa tidak ada kehilangan bahan organik selama pengeringan dengan oven, pada benda uji pada suhu 105°C, walaupun suhu pembakaran pada tungku pembakaran dan lamanya pembakaran cukup untuk menghanguskan semua jenis bahan organik dan mineral pada benda uji tes tidak bisa terbakar.

Pada metode British Standard, benda uji untuk uji hilang pijar diperoleh dari suatu contoh kering oven pada suhu  $50 \pm 2.5^\circ\text{C}$ ; temperatur tungku pembakaran,  $440 \pm 25^\circ\text{C}$ , adalah sama dengan yang dispesifikasikan pada metode ASTM.

Kecuali jika kadar mineral tinggi atau tanah mengandung karbonat (lihat Bagian 4.2.7.3), kesalahan pada kadar abu/kadar bahan organik yang ditentukan dengan metode hilang pijar seperti dijelaskan pada ASTM D2974-87, biasanya dapat diabaikan. Jika ada keraguan, metode ini dapat diganti dengan metode lainnya yang lebih rumit, seperti metode oksidasi dikromat yang dijelaskan di bawah ini.

#### 4.2.7.2 Metode Oksidasi Dikromat

Prosedur untuk menentukan persentase massa kering bahan organik yang terdapat pada suatu tanah dengan menggunakan oksidasi dikromat dijelaskan pada Bab 3, BS 1377 : Part 3 : 1990. Tanah yang mengandung sulfida atau klorida ternyata memberikan hasil yang tinggi dengan prosedur ini. Pengujian kandungan sulfida secara kualitatif, dan prosedur-prosedur untuk menghilangkannya, (jika ada), sebelum pengujian, dijelaskan pada prosedur tersebut. Pengujian keberadaan sulfida secara kualitatif dijelaskan pada Bab 7 BS (*Determination of the Chloride Content*); prosedur-prosedur untuk menghilangkannya, (jika ada), dijelaskan pada Bab 3.

Persentase kadar organik (OMC, %) dihitung dengan persamaan:

$$\text{OMC, \%} = \frac{0.67V}{m}$$

dengan:

V adalah volume total (ml) larutan potasium dikromat yang digunakan untuk mengoksidasi bahan organik pada contoh tanah;

m adalah massa (gr) tanah yang digunakan dalam pengujian.

Metode ini berdasarkan oksidasi basah kadar organik tanah dan mengasumsikan bahwa bahan organik tanah mengandung rata-rata 58% (m/m) karbon. Metode yang diterapkan mengoksidasi sekitar 77% karbon pada bahan organik dan faktor ini dimasukkan pada persamaan yang diberikan di atas.

Suatu metode oksidasi dikromat yang menggunakan kolorimeter secara singkat dijelaskan oleh Lechowicz dkk., (1996); rincian lengkap metode tersebut diberikan pada Swedish Geotechnical Institute Report No. 27E (Larson dkk., 1987). Pada metode ini, benda uji tanah kering yang dihancurkan dicampur dengan larutan potasium dikromat pada sebuah tabung kimia. Bahan organik kemudian dibakar secara basah dengan penambahan suatu konsentrasi asam sulfur. Pada oksidasi karbon organik dengan dikromat, warna cairan oksidasi berubah dari oranye menjadi hijau. Pengukuran kadar karbon yang sederhana tetapi dapat diandalkan diperoleh dengan mengukur kerapatan warna hijau dengan suatu kolorimeter yang disuplai dengan suatu saringan untuk panjang gelombang mendekati 620 nm. Kolorimeter dikalibrasi untuk prosedur pengujian yang ditentukan dengan jumlah karbon organik yang diketahui. Sumber kesalahan utama pada metode ini dijelaskan oleh Lechowicz dkk., yaitu

jumlah contoh yang sedikit pada masing-masing pengujian dan kenyataan bahwa faktor konversi yang digunakan untuk menghitung kadar organik dari karbon organik bisa agak bervariasi; bahan organik biasanya dianggap mengandung 58% bahan organik (lihat metode British Standard).

#### 4.2.7.3

### Diskusi Mengenai Metode yang Digunakan untuk Menentukan Kadar Organik

Larsson dkk., (1989) telah membandingkan sejumlah metode menentukan kadar organik tanah. Mereka mencatat bahwa mineral yang berbeda memiliki sifat yang berbeda berkaitan dengan perubahan berat pada temperatur yang berbeda, karena itu ada rekomendasi yang berbeda mengenai suhu pembakaran pada metode hilang pijar pada berbagai daerah di dunia. Pada daerah di mana tanah memiliki komposisi tertentu, kehilangan berat komponen mineral suatu tanah bisa dihindari dengan menjaga suhu pembakaran relatif rendah, misalnya 440°C. Pada daerah lain, dimana banyak mineral berbeda didapati pada komposisi tanah, kehilangan berat berlangsung terus dan tidak berhenti sampai suhu 800-900°C tercapai. Di Swedia, dimana suhu pembakaran tersebut digunakan, koreksi empiris dibuat untuk memperhitungkan kehilangan berat pada komponen mineralnya.

Jika karbonat ada di dalam tanah, koreksi lebih lanjut dibutuhkan untuk memperhitungkan kehilangan berat yang besar yang terjadi pada saat pemanasan yang menyebabkan karbonat terurai menjadi oksida dan karbon monoksida. Di Swedia, karbonat yang dominan adalah kalsium karbonat atau kalsit. Diasumsikan bahwa kadar karbonat, yang sebenarnya, sama dengan kadar kalsit, dan kehilangan berat karena kalsit terurai sempurna diambil, sama dengan 44% kadar karbonat.

Untuk menggambarkan pentingnya penyesuaian nilai hilang pijar untuk komposisi mineral dan kadar karbonat, Larsson dkk. memperlihatkan suatu profil kadar bahan organik terhadap kedalaman yang ditentukan oleh penganalisis karbon, hilang pijar tak terkoreksi, hilang pijar yang dikoreksi terhadap penguapan air kristalin (suatu fungsi kadar lempung), dan hilang pijar yang lebih lanjut disesuaikan terhadap kadar karbonat. Kadar organik berkisar antara 9 sampai 10% didapati pada metode hilang pijar tak terkoreksi. Ini berkurang menjadi 5,5% dan 1,5% jika data tidak dikoreksi terhadap, masing-masing, penguapan air kristalin dan kadar karbonat (yang berkisar antara 9 sampai 10%). Nilai akhir sebesar 1,5% akan konsisten dengan nilai yang diperoleh dari penganalisis karbon. (Pada profil yang sama, nilai yang diperoleh dari kolorimeter, lihat Bagian 4.2.7.2, akan cocok dibandingkan dengan yang diperoleh dari penganalisis karbon).

Di Swedia, batas bawah dari tanah yang digolongkan sebagai 'organik' adalah 2% dari kadar bahan organik. Penggunaan nilai hilang pijar tak terkoreksi bisa menghasilkan penggolongan tanah yang salah pada profil yang dibahas di atas.

Larsson dkk., memberikan sejumlah batasan pada penggunaan metode hilang pijar untuk penentuan kadar bahan organik tanah mineral dan organik mineral



tanah Swedia: kadar karbonat harus kurang dari 20% dan kadar sulfida harus rendah; koreksi harus dilakukan untuk penguapan air kristalin dan kadar karbonat; contoh harus dibakar pada suhu 900°C selama tidak kurang dari satu jam.

Mereka mencatat bahwa tanah yang sangat organik, dan terutama gambut, metode hilang pijar bisa digunakan untuk penentuan kadar organik; *asalkan kadar karbonat tidak terlalu tinggi*. Untuk jenis tanah ini, metode ini memiliki kelebihan, yaitu contoh yang lebih besar dan representatif bisa digunakan dibandingkan dengan metode lain. Juga, pada metode lain terdapat beberapa ketidakpastian dengan pada saat merubah dari karbon organik ke kadar organik.

#### 4.2.8 Kepadatan Curah Gambut

ASTM D4531-86 (yang diperbarui tahun 1992) memberikan dua metode untuk penentuan berat isi gambut dalam pada kondisi asli: *Metode Inti (Metode A)* dan *Metode Lilin Paraffin (Metode B)*. Pada kedua metode, volume gambut didefinisikan dan massa volume spesifik ditentukan; metode-metode tersebut berbeda hanya pada prosedur yang digunakan untuk menentukan volume.

Pada *Metode Inti*, benda uji diambil dari inti tak terganggu yang mewakili, yang diambil dengan pengambil contoh piston atau alat penginti lainnya. Benda uji yang panjangnya tidak kurang dari 50 mm dipotong (menggunakan pisau listrik atau pisau cukur) dari berbagai panjang yang ditemui pada inti. Panjang benda uji, diukur sampai dengan milimeter terdekat, dikalikan dengan luas potongan melintang contoh inti untuk menghitung volume benda uji.

Pada *Metode Lilin Parafin*, dan contoh tanah yang representatif dan tak terganggu, dipotong menjadi bentuk yang sehalus mungkin dan dilapisi dengan parafin. Contoh tanah yang telah dibungkus parafin kemudian direndam dalam air di dalam sebuah silinder ukur dan volumenya ditentukan dengan mengamati volume air yang terbuang. Volume selimut parafin dikurangkan dari volume, sehingga didapat volume contoh tanah gambut.

Data yang diperoleh dari kedua metode pengujian tersebut:

- Kepadatan curah,
- kadar air (massa kering benda uji atau dalam massa total),
- kepadatan.

Dasar perhitungan kadar air harus dinyatakan dengan jelas pada pelaporan hasil.

#### 4.2.9 Kadar Serat Gambut

Metode pengujian yang diberikan pada ASTM D1997-91 meliputi penentuan kadar serat contoh gambut di laboratorium (seperti didefinisikan pada ASTM D4427-92) berdasarkan massa kering.

Untuk melakukan pengujian, ambil contoh gambut tak terdrainase (undrained) yang mewakili, dan tentukan kadar airnya sesuai dengan ASTM D2974-87. Sebuah benda uji gambut tak terdrainase tak terganggu dengan massa sekitar 100 gram dipisahkan dari contoh dan direndam dalam suatu zat pengurai (5 persen sodium heksametafosfat) selama kurang lebih 15 jam. Gambut kemudian diaduk-aduk dan dicuci di atas saringan No. 100 (0,15 mm) dengan pemberian aliran air keran secara perlahan. Saringan dengan serat gambut dimasukkan dan letakkan pada suatu bejana dangkal berisi 2% larutan asam klorida (HCl) selama sedikitnya 10 menit untuk menguraikan karbonat-karbonat yang mungkin ada. Bahan tersebut kemudian dicuci dengan air selama sekitar 5 menit untuk menghilangkan sisa-sisa HCl. Bahan berserat yang tertinggal pada saringan dikeringkan dengan oven pada suhu 105°C hingga suatu massa konstan diperoleh. Massa serat dinyatakan sebagai persentase massa kering oven dari contoh tanah asli.

#### 4.2.10 Ekstraksi Air Pori dan Pengukuran Salinitas

ASTM D4542-85 (yang diperbarui tahun 1990) menjelaskan suatu prosedur yang cepat untuk memeras air pori dari tanah berbutir halus untuk keperluan penentuan jumlah larutan garam yang ada pada air pori yang diekstraksi. Prosedur tersebut dikembangkan untuk tanah yang memiliki kadar air sama dengan atau lebih besar dari sekitar 14%, misalkan tanah marin. Peralatan yang diperlukan untuk melakukan pengujian meliputi alat penekan tanah dan refraktometer, dengan skala indeks refraksi meliputi ppt (*parts per thousand*).

Air pori diekstraksi sebagai berikut. Contoh tanah yang mewakili dengan massa sekitar 50 gram dimasukkan dalam silinder penekan tanah. Tekanan diberikan perlahan-lahan sampai beberapa tetes air pertama keluar; alat penyedot plastik 25 ml kemudian dimasukkan kedalam saluran pembuangan yang terletak pada dasar penekan tanah. Tekanan diberikan secara bertahap sampai maksimum sebesar 80 Mpa, dan ditahan pada tekanan tersebut hingga tidak ada lagi air yang keluar atau alat penyedot penuh. Cairan dari alat penyedot dikeluarkan kedalam botol 100 ml yang bersih yang kemudian segera ditutup. Botol tersebut disimpan pada suhu antara 1 dan 5°C.

Jika refraktometer dengan skala indeks refraksi yang digunakan, salinitas dalam bagian perseribu dibaca dari grafik indeks refraksi terhadap salinitas; salinitas dibaca langsung dari refraktometer dengan skala ppt. Untuk kedua tipe refraktometer, hanya beberapa tetes air pori saja yang dibutuhkan yaitu sekitar 5 ml.

Penekan tanah dan refraktometer harus dibersihkan secara menyeluruh sebelum digunakan; prosedur pencucian dijelaskan dalam metode tersebut.

#### 4.2.11 Konduktivitas

Konduktivitas menunjukkan konsentrasi total berbagai ion terlarut, tidak termasuk ion hidrogen.

Riley (1989) menjelaskan suatu prosedur untuk menentukan konduktivitas gambut; contoh yang sama digunakan untuk penentuan pH. Prosedurnya dijelaskan dalam "*Laboratory Methods for Testing Peat – Ontario Peatland Inventory Project*". Karena laporan ini mungkin tidak beredar luas, prosedur tersebut secara rinci dijelaskan pada bagian berikut.

**Prosedur:**

- timbang 20 gram gambut segar yang telah sepenuhnya diaduk ke dalam cangkir kertas,
- tambahkan 20 mL air yang dideionisasi (pH 6.6 sampai 7.5) yang telah dididihkan selama sedikitnya satu jam, untuk meyakinkan air tersebut bebas dari karbon dioksida (CO<sub>2</sub>),
- untuk contoh berserat yang tidak cukup basah, untuk keperluan pengukuran konduktivitas dan pH, tambahkan 80 mL air suling yang dideionisasi. Air suling yang telah mendidih tersebut ditambahkan dengan menggunakan pembuang (*dispenser*) yang sesuai mengambil dari penampung yang dilengkapi dengan perangkat KOH (kalium hidroksida) pada sumber udara pengganti,
- tutupi dan kocok pada sebuah pengocok selama 10 menit,
- biarkan selama 30 menit setelah pengocokan,
- ukur konduktivitas *supernatan* menggunakan suatu konduktivitas meter dan sel dengan suatu konstanta 1.0 cm<sup>-1</sup>,
- standarkan sel secara rutin terhadap 0.01-N KCl pada suhu 25°C (konduktivitas 1300 µmhos/cm, lihat catatan di bawah) atau catat suhu dan koreksi bacaan berdasarkan rumus berikut:

$$L_{25} = \frac{L_t}{1 + 0.02\Delta t}$$

dengan:

$L_{25}$  adalah konduktivitas pada suhu 25°C;

$L_t$  adalah konduktivitas pada suhu yang diukur;

$\Delta t$  adalah perbedaan antara suhu yang diukur dan 25°C.

Catatan: Nilai 1300 µmhos/cm yang diambil sebagai konduktivitas 0.01 – N KCl pada suhu 25°C tidak konsisten dengan nilai yang diberikan oleh Al-khafazi dan Andersland (1992). Para penulis ini mentabulasikan nilai-nilai yang ditentukan pada interval 5°C, pada rentang suhu 10-30°C. Nilai pada 25°C adalah 1413 µmhos/cm dan nilai-nilai yang ditabulasikan untuk suhu yang lain dapat dikonversi menjadi sekitar 1413 µmhos/cm dengan menggunakan formula yang diberikan di atas

- segera setelah pengukuran konduktivitas, pH bisa diukur pada larutan *supernatan* yang sama. Pengukuran konduktivitas harus dilakukan sebelum pengukuran pH,
- ukur pH dengan sebuah pH meter yang akurat sampai 0.1 satuan dan dilengkapi dengan kompensasi temperatur. Standarkan pH meter secara rutin menggunakan larutan penyangga yang pH-nya diketahui (Asam Kalium Pitalat, pH  $4.01 \pm 0.01$ ; Larutan penyangga Fosfat, pH  $7.00 \pm 0.01$ ),
- jika pH *supernatan* didapat 5.1 atau lebih rendah, konduktivitas dikoreksi dengan mengurangi konduktivitas yang memiliki ion-ion hidrogen seperti terlihat di bawah dan data dilaporkan sebagai  $L_{25}$ ,  $H^+$  dikoreksi:

pH	$H^+$ ( $\mu\text{mhos/cm}$ pada $25^\circ\text{C}$ )
3.0	350.0
3.1	278.0
3.2	220.3
3.3	175.5
3.4	139.3
3.5	110.7
3.6	87.9
3.7	69.8
3.8	55.5
3.9	44.0
4.0	35.0
4.1	27.8
4.2	22.1
4.3	17.5
4.4	13.9
4.5	11.1
4.6	8.8
4.7	7.0
4.8	5.6
4.9	4.4
5.0	3.6
5.1	2.8

- untuk contoh yang ditambahkan 80 ml air suling yang dideionisasi, konduktivitas dikoreksi terhadap 20 ml air dengan mengalikan konduktivitas pada 80 ml dengan faktor 2.4.

#### 4.2.12 pH Bahan Gambut

ASTM D2976-71 (yang diperbarui 1990) menjelaskan prosedur untuk mengukur pH (derajat keasaman dan kebasaan) contoh gambut kering udara yang tersuspensi dalam air suling bebas karbon dioksida dan larutan kalsium

klorida. Nilai yang diperoleh pada larutan kalsium klorida umumnya berkisar 0,5 sampai 0,8 satuan pH lebih rendah dari hasil pengukuran yang dilakukan di air.

pH meter dikalibrasi menggunakan asam kalium pitalat dan larutan penyangga fosfat yang telah disiapkan seperti yang dijelaskan pada metode tersebut. Prosedur untuk menyiapkan stok larutan kalsium klorida dan larutan kalsium klorida yang digunakan untuk pengujian juga dijelaskan.

Seperti dibahas pada Bagian 4.2.11, pH dalam air gambut bisa juga ditentukan pada *supernatan* setelah tes konduktivitas.

#### **4.2.13 pH Tanah**

Metode pengujian dijelaskan pada ASTM D4972-89 mencakup pengukuran pH tanah untuk keperluan selain untuk pengujian korosi.

Pengukuran dilakukan pada tanah yang tersuspensi pada air suling dan pada larutan kalsium klorida. Pengukuran pada kedua cairan tersebut diperlukan untuk menentukan pH tanah secara lengkap; pengukuran yang dilakukan pada larutan kalsium klorida biasanya lebih rendah dibandingkan dalam air.

Pengukuran dilakukan pada tanah kering udara yang lolos saringan No. 10 (2.0 mm). Pengukuran pH dilakukan dengan pH meter atau kertas yang sensitif terhadap pH; kertas yang sensitif terhadap pH menghasilkan pengukuran yang kurang akurat dan hanya digunakan untuk suatu perkiraan kasar pH tanah.

Rincian diberikan pada persiapan larutan asam kalium pitalat dan penyangga fosfat untuk kalibrasi pH meter. Persiapan stok larutan kalsium klorida dan larutan kalsium klorida yang digunakan untuk pengujian juga dijelaskan.

#### **4.2.14 Kadar Karbonat**

Dua metode untuk penentuan kadar karbonat tanah diberikan pada Bab 6, BS 1377: Part 3 : 1990. Kedua metode tersebut bergantung pada reaksi asam karbonat dan hidroklorik, yang membebaskan karbon dioksida.

Metode pertama menggunakan pengujian titrasi yang cepat yang cocok untuk tanah yang karbonatnya melebihi 10% (m/m) dan dimana akurasi sekitar 1% dianggap mencukupi. Pada metode ini benda uji diberi asam hidroklorik yang banyaknya diketahui sampai akhir. Jumlah kelebihan asam ditentukan dengan *titrasi* terhadap sodium hidroksida. Hasilnya dihitung dalam bentuk proporsi ekuivalen karbon dioksida.

Metode kedua menggunakan metode gravimetrik yang dijelaskan untuk beton yang mengeras pada BS 1881 : Part 124. Pada metode ini, karbon dioksida berubah pada saat tanah yang diberi hidroklorik dilewatkan melalui suatu penghisap butiran yang memungkinkan massa karbon dioksida ditentukan secara gravimetrik.

Persiapan awal benda uji sama untuk kedua metode tersebut.

Metode lainnya yang digunakan untuk menentukan kadar karbonat disarikan oleh Lechowicz dkk., (1996) dan dijelaskan secara detil dalam *Swedish Geotechnical Institute Report No. 27E (Larsson dkk., 1987)*.

Seperti dibahas pada Bagian 4.2.7.3 kadar karbonat mempengaruhi hasil pengujian dengan metode hilang pijar untuk menentukan kadar bahan organiknya.

#### **4.2.15 Kadar Klorida**

Pengujian untuk menentukan kandungan garam klorida pada tanah yang dapat larut dalam air atau asam, dijelaskan pada Bab 7, BS 1377 ; Part 3 : 1990.

Untuk menentukan klorida yang dapat larut dalam air, klorida diekstraksi dari contoh tanah kering dengan melarutkannya pada massa air yang banyaknya dua kali massa contoh tanah; hasilnya dinyatakan sebagai kadar ion klorida (persentase terhadap massa kering tanah).

Metode ekstraksi air hanya berlaku untuk tanah-tanah yang kadar kloridanya berasal dari kontak yang baru terjadi dengan, atau perendaman dalam air garam; metode ekstraksi asam dapat digunakan untuk penentuan kadar klorida tawar dari daerah padang pasir atau dimana asal-usul klorida tidak jelas.

Suatu prosedur dijelaskan untuk melakukan pengujian secara kualitatif terhadap adanya klorida. Jika hasilnya negatif, analisis kuantitatif tidak perlu dilakukan.

Serangan klorida terhadap baja, termasuk tulangan baja pada beton, jika terdapat di dalam tanah, dan konsentrasinya diketahui, maka tindakan pencegahan yang sesuai dapat diambil.

#### **4.2.16 Kadar Sulfat**

Dengan beberapa pengecualian yang sebetulnya jarang terdapat, semua sulfat alami bisa larut dalam asam. Sodium sulfat dan magnesium sulfat juga dapat larut dalam air kecuali kalsium sulfat. Garam sulfat yang paling sering dijumpai, memiliki kemampuan larut dalam air yang rendah. Beton dan bahan yang dicampur dengan semen bisa terkena serangan oleh sulfat, terutama sodium dan magnesium sulfat. Oleh karenanya, penting untuk menentukan jenis dan konsentrasi sulfat dalam tanah dan air tanah.

Bab 5, BS 1377 : Part 3 : 1990 menjelaskan prosedur untuk menentukan kadar sulfat tanah dan air tanah. Prosedur pengujian dijelaskan untuk:

- kadar sulfat tanah yang larut dalam asam (juga disebut sebagai kadar sulfat total) di mana ekstrak asam dipersiapkan terlebih dahulu,
- kadar sulfat tanah yang larut dalam air di mana ekstrak air dipersiapkan terlebih dahulu,
- kadar sulfat yang larut dalam air tanah.

Dua metode analisis dijelaskan:

- metode gravimetrik untuk ekstrak asam, ekstrak air dan contoh air tanah.
- prosedur penggantian ion untuk ekstrak air dan contoh air tanah.

Pada prosedur tersebut dinyatakan bahwa jika sulfat yang terdapat dalam tanah terutama adalah garam kalsium, maka kadar sulfat total dari tanah yang didapati pada ekstrak asamnya kemungkinan akan memberikan kesan yang salah dan pesimistis akan adanya bahaya terhadap beton atau bahan-bahan yang distabilisasi dengan semen. Pada kondisi dimana keseluruhan sulfat melebihi 0,5%, disarankan bahwa kadar sulfat yang dapat larut dalam air dari suatu ekstrak air-tanah 2 terhadap 1 harus ditentukan. Jika kalsium sulfat adalah satu-satunya garam sulfat yang ada, kelarutannya yang rendah akan menjamin kadar sulfat ekstrak air tidak melebihi 1,2 g/L. Kadar sulfat yang melebihi nilai ini pada ekstrak air-tanah atau di dalam air tanah seperti yang didapati pada pengujian ini menandakan terdapatnya garam sulfat lain yang lebih berbahaya.

## **4.3 PENGUJIAN KUAT GESER**

Pengujian yang dilakukan di laboratorium untuk mengukur kuat geser meliputi uji baling laboratorium, uji geser langsung dan uji tekan triaksial. Uji baling-baling bisa dianggap sebagai uji indeks kekuatan dan dijelaskan pada Bagian 4.2.5; sementara uji geser langsung dan triaksial dijelaskan pada uji butir-butir berikut ini.

### **4.3.1 Uji Geser Langsung**

Metode pengujian standar untuk uji geser langsung tanah dalam kondisi terkonsolidasi dan terdrainase dijelaskan pada ASTM D3080-90.

Metode pengujian tersebut diringkaskan sebagai berikut:

- benda uji diletakkan pada alat geser langsung,
- tegangan normal yang telah ditentukan diberikan,
- ketetapan dibuat untuk pembasahan atau drainase benda uji, atau keduanya,
- benda uji dikonsolidasikan dengan suatu tegangan normal,
- rangka yang menahan benda uji kemudian dibuka dan satu rangka di dorong mendatar terhadap lainnya dengan kecepatan deformasi geser yang konstan,
- gaya geser dan regangan horisontal selagi benda uji digeser diukur.

Hal-hal berikut diambil dari penjelasan metode pengujian:

- tiga atau lebih benda uji diuji, masing-masing pada beban normal yang berbeda, untuk menentukan pengaruhnya terhadap tahanan geser dan

perpindahan, dan terhadap sifat-sifat kekuatan seperti selubung lingkaran Mohr,

- kondisi pengujian, termasuk beban normal, kecepatan penggeseran dan lingkungan kelembaban, ditentukan yang mewakili kondisi lapangan yang sedang diselidiki,
- diameter benda uji minimum untuk benda uji yang berbentuk lingkaran, atau lebar benda uji yang berbentuk bujur sangkar, dan ketebalan benda uji awal minimum ditentukan; perbandingan minimum diameter spesimen terhadap tebal atau lebar terhadap ketebalan ditentukan sebagai 2:1,
- keruntuhan ditentukan pada tegangan geser maksimum yang dicapai atau tegangan geser pada 15 sampai 20 persen regangan lateral relatif,
- benda uji dikonsolidasikan pada beban normal yang diinginkan yang diberikan pada satu atau lebih kenaikan. Pemberian beban dengan satu kenaikan cocok untuk tanah yang relatif keras; *untuk tanah yang relatif lunak, pemberian beban normal pada beberapa kenaikan mungkin diperlukan untuk mencegah kerusakan pada benda uji,*
- untuk *semua* kenaikan beban, akhir dari konsolidasi primer harus diperiksa sebelum melanjutkan pengujian (lihat ASTM D2435-90); kemudian lakukan pemerataan perpindahan normal terhadap log waktu atau akar kuadrat waktu dalam menit,
- setelah konsolidasi primer dicapai, benda uji digeser dengan kecepatan yang bergantung pada karakteristik konsolidasi tanah. Kecepatan harus sedemikian rupa sehingga tak ada tekanan air pori berlebih pada saat keruntuhan,
- perkiraan kecepatan yang cocok ditentukan sebagai berikut:
  - perkiraan waktu minimum yang diperlukan dari awal pengujian sampai keruntuhan, (dalam menit), berdasarkan hubungan:

$$t_r = 50t_{50}$$

dengan:

$t_{50}$  adalah waktu yang diperlukan benda uji untuk mencapai 50 persen konsolidasi akibat tegangan normal yang ditentukan (atau kenaikan daripadanya) dalam menit,

- tentukan kecepatan dari hubungan:

$$d_r = d_f/t_r$$

dengan:

$d_r$  adalah kecepatan, mm/menit;

$d_f$  adalah perkiraan perpindahan horizontal pada saat keruntuhan, mm.



sebagai petunjuk, nilai  $d_f = 12$  mm disarankan untuk digunakan jika bahan tersebut tanah berbutir halus yang terkonsolidasi normal atau sedikit terkonsolidasi; kalau tidak gunakan  $d_f = 5$  mm,

- beberapa tanah seperti pasir padat dan lempung terkonsolidasi lebih, kemungkinan tidak menampilkan kurva perpindahan normal terhadap waktu yang jelas. Saran-saran telah diberikan untuk memilih nilai  $t_f$  yang sesuai untuk tanah ini. Metode untuk menentukan nilai  $t_f$  untuk tanah yang mengembang juga diberikan,
- bidang keruntuhan benda uji tanah kohesif harus dipotret, disketsa atau dijelaskan secara tertulis.

### ***Aplikasi***

Hasil pengujian bisa diterapkan untuk menilai kekuatan pada situasi lapangan di mana konsolidasi telah selesai akibat tegangan normal yang ada. Hasil dari beberapa pengujian bisa digunakan untuk menyatakan hubungan antara tegangan konsolidasi dan kuat geser terdrainase.

Kuat geser yang didapat dari pengujian geser langsung bisa langsung digunakan untuk perhitungan stabilitas dan berlaku terutama untuk bagian tengah bidang gelincir yang kurang lebih horisontal.

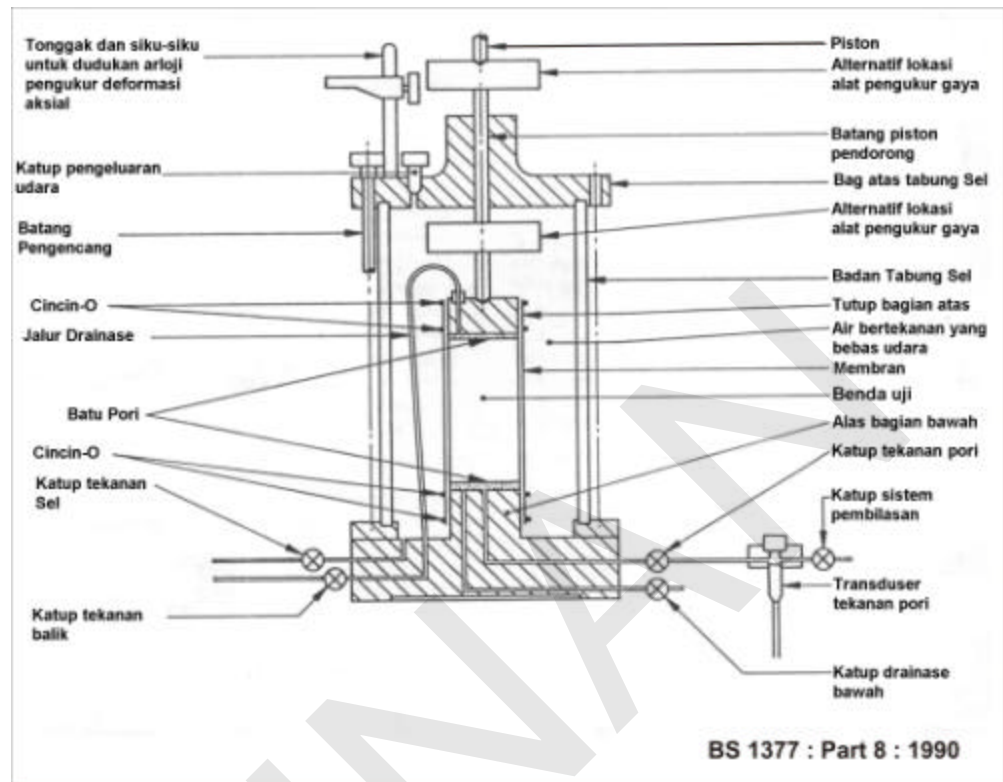
Meskipun demikian, pada uji geser langsung, keruntuhan mungkin tidak terjadi pada bidang yang paling lemah karena keruntuhan dipaksa untuk terjadi pada atau mendekati bidang horisontal pada bagian tengah benda uji. Juga, sementara kecepatan yang rendah (lambat) memberi jalan untuk disipasi dari tekanan air pori berlebih, kecepatan tersebut juga menyebabkan aliran plastis pada tanah kohesif lunak.

## **4.3.2**

### **Uji Tekan Triaksial**

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  $\sigma_1$  dan  $\sigma_2$ , sama dengan tekanan fluida; tegangan utama (mayor),  $\sigma_3$ , 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.

Pemampang utama sel triaksial diperlihatkan pada Gambar 4-9.



**Gambar 4-9** Pemampang Utama Triaksial pada Umumnya

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
- *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,
- *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.

#### 4.3.2.1

#### Uji Tak Terkonsolidasi-Tak Terdrainase, UU

ASTM D2850-87 menjelaskan metode standar untuk menentukan kuat tekan tak terkonsolidasi tak terdrainase tanah kohesif, pada uji tekan triaksial.

Berikut butir-butir penting mengenai metode pengujian UU:

- prosedur tidak mencakup cara untuk mendapatkan pengukuran tekanan pori,
- keruntuhan didefinisikan sebagai tegangan pada benda uji sama dengan tegangan deviator maksimum yang dicapai atau tegangan deviator pada regangan aksial 15%, tergantung yang mana tercapai terlebih dahulu selama pengujian,
- jika benda uji *sepenuhnya jenuh*, selubung keruntuhan Mohr biasanya akan berupa garis lurus horizontal sepanjang keseluruhan tegangan keliling yang diberikan pada benda uji; untuk *tanah yang jenuh sebagian*, selubung keruntuhan Mohr biasanya berbentuk lengkung,
- beban diberikan sedemikian sehingga menghasilkan regangan aksial dengan kecepatan sekitar 1% per menit untuk material plastis, dan 0,3% per menit untuk material getas yang mencapai tegangan deviator maksimum pada sekitar 3 sampai 6 % regangan. Pembebanan dilanjutkan sampai mencapai 15% regangan aksial tetapi bisa dihentikan jika tegangan deviator telah mencapai puncak dan kemudian turun sampai 20%, atau regangan aksial telah mencapai 5% di luar regangan di mana tegangan deviator puncak terjadi,
- beban yang cukup dan pembacaan deformasi harus diambil untuk membuat kurva tegangan-regangan,
- sketsa atau foto benda uji harus dibuat pada saat keruntuhan, yang memperlihatkan sudut kemiringan bidang keruntuhan jika terlihat dan dapat diukur.

Selubung keruntuhan Mohr yang tidak horisontal pada lempung lunak, kemungkinan menandakan bahwa contoh tanah tidak sepenuhnya jenuh. Kondisi ini harus dicatat pada lembar pengujian dan bila didapati nilai  $\phi$  hasil tersebut harus disertai dengan suatu catatan peringatan.

### **Aplikasi**

Kuat geser triaksial yang didapat pada kondisi tak terkonsolidasi tak terdrainase, berlaku untuk situasi desain dimana pembebanan berlaku sangat cepat sehingga tidak ada waktu yang cukup untuk mendisipasi tekanan air pori yang timbul dan untuk terjadinya konsolidasi (artinya drainase tidak terjadi). Kuat triaksial yang diukur pada kondisi UU digunakan untuk menentukan kekuatan pada akhir pelaksanaan. Pelaksanaan timbunan di atas lapisan lempung merupakan suatu contoh kondisi dimana kuat geser tak terdrainase *lapangan* akan menentukan stabilitas.

Perlu dicatat bahwa kuat geser tak terdrainase  $\hat{\sigma}_f$ , tegangan geser pada bidang keruntuhan pada saat keruntuhan diambil sama dengan setengah kuat tekan tak terdrainase ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) yaitu

$$\hat{\sigma}_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

#### 4.3.2.2

#### Uji Terkonsolidasi-Tak Terdrainase, CU

Metode standar untuk melakukan uji tekan triaksial terkonsolidasi-tak terdrainase pada tanah kohesif dijelaskan pada ASTM D4767-88. Berikut butir-butir penting yang berhubungan dengan metoda tersebut:

- benda uji yang dikonsolidasikan secara isotropis digeser tak terdrainase pada tekanan dengan kecepatan regangan aksial yang konstan (kontrol regangan),
- metode tersebut memberikan perhitungan *tegangan total* dan *efektif* pada, dan tekanan aksial pada benda uji dengan pengukuran beban aksial, deformasi aksial dan tekanan air pori,
- kekuatan dan sifat deformasi tanah kohesif, seperti selubung kuat geser Mohr dan modulus Young, bisa ditentukan dari data pengujian,
- tiga benda uji biasanya diuji pada tegangan konsolidasi efektif yang berbeda untuk membuat satu selubung kuat geser,
- keruntuhan sering diambil pada tegangan deviator maksimum yang dicapai atau tegangan deviator yang dicapai pada 15% regangan aksial, tergantung yang mana duluan tercapai. Bergantung pada perilaku tanah dan aplikasi lapangan, kriteria keruntuhan lainnya bisa didefinisikan seperti rasio tegangan utama efektif  $\sigma'_1/\sigma'_3$ , atau tegangan deviator pada regangan aksial yang dipilih selain 15%,
- tekanan air pori bisa diukur menggunakan transduser tekanan elektronik yang sangat kaku atau alat indikator nol (null indikator),
- komponen konsolidasi dan geser dari pengujian harus dilakukan pada suatu kondisi dimana fluktuasi suhu kurang dari  $\pm 4^\circ\text{C}$  dan tidak ada kontak langsung dengan cahaya matahari,
- penjenjutan dicapai dengan memberikan tekanan balik pada air pori benda uji, untuk membuat udara di dalam rongga pori menjadi larut dalam air pori. Derajat penjenjutan diukur menggunakan parameter tekanan pori B yang didefinisikan sebagai:

$$B = \Delta u / \Delta \sigma_3$$

di mana:  $\Delta u$  = perubahan tekanan pori benda uji yang terjadi sebagai akibat perubahan tekanan sel pada saat katup drainase benda uji ditutup,

$\Delta \sigma_3$  = perubahan tekanan sel,

- selama konsolidasi, data didapat untuk digunakan pada penentuan kapan konsolidasi selesai dan untuk menghitung kecepatan regangan yang akan digunakan untuk komponen uji geser,
- konsolidasi dibiarkan berlanjut selama sekurang-kurangnya satu putaran log waktu atau semalam *setelah* 100% konsolidasi primer dicapai, kemudian

waktu untuk mencapai 50% konsolidasi primer,  $t_{50}$ , juga ditentukan sesuai dengan ASTM D2435-90,

- jika keruntuhan diasumsikan terjadi setelah 4% regangan aksial, *kecepatan regangan* yang sesuai bisa diperoleh dengan membagi 4% dengan 10 kali nilai  $t_{50}$ ; jika diperkirakan keruntuhan akan terjadi pada nilai regangan yang lebih rendah dari 4%, kecepatan regangan yang sesuai didapat dengan membagi regangan pada saat keruntuhan dengan 10 kali nilai  $t_{50}$ ,
- sketsa atau foto benda uji yang runtuh harus dibuat yang memperlihatkan pola keruntuhannya (bidang geser, pengembangan, dan sebagainya).

### ***Aplikasi***

Kuat geser pada pengujian ini diukur pada kondisi tak terdrainase dan bisa diterapkan untuk kondisi lapangan di mana (i) tanah yang telah sepenuhnya dikonsolidasikan pada satu seri rangkaian tegangan dan diberi satu perubahan tegangan tanpa kesempatan konsolidasi lebih lanjut dan (ii) kondisi-kondisi tegangan lapangan mirip dengan kondisi tegangan pada waktu pengujian.

Karena pengukuran tekanan air pori dilakukan, kuat geser bisa dinyatakan dalam bentuk tegangan efektif dan dapat diterapkan untuk kondisi lapangan di mana (i) drainase sempurna bisa terjadi atau (ii) tekanan pori yang timbul akibat pembebanan bisa diperkirakan dan (iii) dimana kondisi-kondisi tegangan lapangan mirip dengan kondisi pada waktu pengujian.

Kuat geser yang didapat dari pengujian, dinyatakan dalam bentuk tegangan total atau efektif, umumnya digunakan untuk analisis stabilitas timbunan.

### **4.3.2.3**

### **Uji Terkonsolidasi-Terdrainase, CD**

Tahap penjenjutan, konsolidasi dan pembebanan dari uji tekan triaksial terkonsolidasi terdrainase dengan *pengukuran perubahan volume*, dijelaskan pada Butir 5,6 dan 8, masing-masing pada BS 1377: Part 8 : 1990. Untuk kemudahan perujukan, butir-butir tersebut dicantumkan pada Lampiran B. Persiapan contoh tak terganggu untuk pengujian dijelaskan pada Lampiran C.

### ***Tahap Penjenjutan***

Ada dua prosedur penjenjutan:

- penjenjutan dengan menaikkan tekanan sel dan tekanan balik secara bergantian. Tahap penambah tekanan sel dilakukan dengan menutup kran drainase masuk atau keluar, yang memungkinkan nilai koefisien tekanan pori B untuk ditentukan pada masing-masing level tekanan total,
- penjenjutan dengan hanya menambahkan tekanan sel; kran ditutup sehingga air tidak bisa masuk atau keluar dari benda uji selama prosedur ini. Penjenjutan ini diberi nama "penjenjutan pada kadar air yang konstan".

Pada prosedur pertama benda uji dianggap jenuh jika tekanan pori tetap stabil setelah 12 jam, atau semalam, dan nilai  $B$  sama dengan atau lebih besar dari 0,95. Pada prosedur kedua, benda uji dianggap jenuh jika salah satu kriteria ini dipenuhi.

### ***Tahap Konsolidasi***

Tahap konsolidasi berlangsung segera setelah tahap penjenruhan. Tujuan dari tahap ini adalah untuk membuat benda uji berada pada keadaan tegangan efektif yang dibutuhkan untuk melakukan uji tekan.

Data dari tahap konsolidasi digunakan untuk:

- memperkirakan kecepatan regangan yang cocok untuk diterapkan selama proses pembebanan,
- menentukan bilamana konsolidasi selesai,
- menghitung dimensi benda uji pada permulaan tahap pembebanan.

Konsolidasi benda uji dilanjutkan hingga tidak ada lagi perubahan volume yang signifikan dan sampai derajat konsolidasi  $U$ , seperti didefinisikan dalam prosedur, sama dengan atau lebih besar dari 95%.

Lakukan pemeraan terhadap grafik lekukan pemeraan terhadap perubahan volume terukur terhadap akar kuadrat waktu dan tentukan waktu  $t_{100}$  dari grafik;  $t_{100}$  digunakan untuk memperkirakan waktu pengujian (dalam menit) atau kecepatan perubahan.

Rumus-rumus diberikan untuk menghitung koefisien konsolidasi  $c_v$  ( $m^2/tahun$ ), dan koefisien kompresibilitas volume  $m_v$  ( $m^2/MN$ ) untuk konsolidasi isotropik. Faktor-faktor yang digunakan sewaktu menghitung  $c_v$ , danlamanya pembebanan dilakukan, diberikan dalam bentuk tabel sebagai fungsi kondisi dari drainase selama konsolidasi.

### ***TahapPembebanan (Kompresi)***

Selama pembebanan, drainase dibuka dan air pori dibiarkan keluar. Air yang keluar atau masuk benda uji diukur melalui indikator perubahan volume pada garis tekanan balik dan sama dengan perubahan volume benda uji selama geser; tekanan pori bisa dipantau sebagai suatu kontrol terhadap efisiensi drainase.

Pengujian dilakukan dengan cukup lambat untuk menjaga perubahan tekanan pori akibat penggeseran dapat diabaikan. Pembebanan (kompresi) dilakukan dengan kecepatan ( $d_r$ , dalam  $mm/min$ ) sedekat mungkin, tetapi tidak melebihi yang diberikan oleh rumus:

$$d_r = (\hat{\alpha} \times L_c) / t_f$$

dengan:

$L_c$  adalah panjang benda uji yang terkonsolidasi, mm;

$\hat{\alpha}_f$  adalah interval regangan yang signifikan untuk benda uji;

$t_f$  adalah lama pengujian yang signifikan, menit.

Nilai  $t_f$  diberikan sebagai:

$$t_f = F t_{100}$$

di mana  $F$  diambil dari tabel yang disebutkan sebelumnya. Sebagai contoh, jika perbandingan tinggi terhadap diameter benda uji adalah 2 dan drainase selama konsolidasi adalah dari batas radial dengan kedua ujung, maka nilai  $F$  untuk pengujian terdrainase adalah 16.

Nilai  $\hat{\alpha}_f$  diperkirakan dengan mempertimbangkan hal-hal berikut:

- 1) jika hanya kondisi tegangan pada saat keruntuhan (seperti didefinisikan di bawah) yang signifikan, maka  $\hat{\alpha}_f$  adalah regangan perkiraan pada saat keruntuhan akan terjadi,
- 2) jika pembacaan antara yang memiliki rentang kurang lebih sama, yang masing-masing perlu disamakan dengan tekanan pori, adalah signifikan, maka  $\hat{\alpha}_f$  adalah kenaikan regangan antara masing-masing pembacaan.

Kriteria untuk kondisi tegangan pada saat keruntuhan diberikan pada Butir 1 BS 1377 : Part 8 : 1990 sebagai berikut:

- tegangan deviator maksimum, yaitu perbedaan tegangan utama maksimum, adalah  $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ ,
- perbandingan tegangan utama efektif maksimum, adalah  $\sigma'_1 / \sigma'_3$ ,
- jika penggeseran berlanjut pada tekanan pori yang konstan (kondisi tak terdrainase) atau tanpa perubahan volume (kondisi terdrainase), keduanya dilakukan pada tegangan geser yang konstan.

Tekanan pori harus diamati secara periodik dan bila bervariasi terhadap nilai tekanan balik lebih dari 4% tekanan keliling efektif, maka *kecepatan regangan harus dikurangi 50% atau lebih*.

Sekurangnya 20 kali pembacaan terhadap arloji deformasi, pengukur tekanan dan pengukur perubahan volume harus dilakukan, agar didapatkan kurva tegangan-regangan yang jelas di sekitar keruntuhan.

Pengujian dilanjutkan sampai kondisi-kondisi berikut telah secara jelas diidentifikasi:

- tegangan deviator maksimum, atau
- deformasi geser tetap berlangsung dengan volume konstan dan tegangan geser konstan.

Bila tidak satupun kondisi keruntuhan yang diperlukan terjadi, pengujian dihentikan pada regangan aksial 20%; untuk kondisi ini kuat geser tidak perlu dilaporkan.

#### *Aplikasi*

Hasil pengujian CD yang dilakukan pada tanah kohesif dapat diterapkan pada situasi dimana konstruksi akan berlangsung dengan kecepatan yang cukup lambat sehingga tidak ada tekanan pori berlebih yang timbul, atau waktu yang cukup telah terlewati, sehingga semua tekanan pori berlebih telah terdisipasi (AASHTO 1988).

### 4.3.3

#### **Diskusi mengenai Pengujian Laboratorium untuk Menentukan Kuat Geser Tanah Organik dan Gambut**

Untuk tanah organik dengan permeabilitas yang rendah, penggeseran sampai runtuh pada tes triaksial kadang-kadang bisa berlangsung hingga berminggu-minggu (Lechowicz dkk., 1996).

Hasil pengujian triaksial pada gambut berserat sangat sulit untuk diinterpretasi. Serat-serat berfungsi sebagai perkuatan horizontal sehingga keruntuhan jarang terjadi pada pengujian terdrainase; hanya pemampatan yang besar yang terjadi. Pada pengujian tak terdrainase, keruntuhan biasanya terjadi saat terjadi tekanan pori sangat besar sehingga tegangan tarik terjadi dan contoh retak. Perilaku ini yang sangat berbeda dengan material berbutir dan lempung sehingga memerlukan interpretasi yang berbeda (Lechowicz dkk., 1996).

Sehubungan dengan penentuan kuat geser di laboratorium, McGown dan Jarrett (1997b) telah membedakan dua kategori tanah organik dan gambut:

Material kategori A dengan kadar organik yang rendah atau dengan kadar organik yang amorfos; Material kategori B memiliki kadar organik yang tinggi dan pembusukan yang rendah. Material kategori B, kandungan seratnya akan mengontrol atau sangat mempengaruhi perilaku material tersebut.

Kutipan langsung dari McGown dan Jarret (1997b) diberikan di bawah ini :

Pada kategori pertama (A), material akan mempunyai permeabilitas yang relatif rendah, tetapi pemampatannya tinggi dibandingkan dengan material yang normal dan memiliki kuat geser yang relatif rendah jika terkonsolidasi normal. Desain dan analisis bisa dicoba menggunakan metode untuk "tanah inorganik normal". Stabilitas awal bisa dihitung dengan menggunakan kuat geser tak terdrainase dari hasil pengujian baling-baling, penetrometer atau triaksial. Perilaku jangka panjang dapat menggunakan parameter tegangan efektif yang diperoleh dari pengujian triaksial.



Untuk kategori kedua (B), material berserat, timbul gambaran yang lebih rumit terlihat. Material ini cenderung memiliki permeabilitas yang tinggi sampai pemampatan yang signifikan terjadi. Karena permeabilitas yang tinggi, kondisi tak terdrainase tidak terjadi di lapangan, baik di bawah timbunan atau selama percobaan uji kuat geser *lapangan*. Oleh karena itu metode stabilitas awal tak terdrainase tidak berlaku.

Skenario kuat geser lebih lanjut diperumit dengan adanya efek perkuatan dari serat. Uji tekan triaksial terkonsolidasi-terdrainase dari material ini biasanya menghasilkan pemampatan yang sangat besar namun tanpa terjadi keruntuhan geser bahkan pada regangan 40 sampai 50 persen. Dengan drainase yang dibuka, contoh menyerupai papan serat yang termampatkan setelah pengujian. Landva dan La Rochelle telah membahas secara rinci mengenai efek serat pada kebanyakan pengujian kekuatan tanah "standar". Disimpulkan bahwa untuk material berserat, hampir semua pengujian tersebut tidak dapat diterapkan untuk menilai parameter kuat geser untuk desain geoteknik. Mereka berpendapat bahwa uji geser Cincin akan memberikan estimasi parameter-parameter kuat geser yang paling baik. Namun sejauh ini tidak penting karena timbunan diatas material ini cenderung tidak runtuh karena kurangnya stabilitas geser, tetapi lebih karena pemampatan yang berlebihan dan penurunan. *Meskipun demikian uji tradisional tetap penting karena hasil-hasil tegangan-regangan dibutuhkan untuk menilai deformasi dan kompresi geser tetapi tidak untuk selubung keruntuhan*. Karena regangan yang besar tanpa keruntuhan pada gambut-gambut berserat, beberapa peneliti mendapatkan selubung kekuatan berdasarkan pada tegangan-tegangan pada sembarang nilai regangan, contohnya 20% atau 25%. Pendekatan ini tidak berlaku dan menyesatkan.

Baru-baru ini digunakan Uji Geser Sederhana untuk menilai selubung keruntuhan dan parameter deformasi tegangan untuk material berserat dan material amorfos. Rowe dan Myleville mengemukakan analisis suatu kasus dimana selubung keruntuhan dan perilaku tegangan-regangan untuk lanau organik, (Kategori A) dan untuk gambut berserat, (Kategori B) diperoleh dengan menggunakan alat geser sederhana. Informasi pengujian yang dihasilkan digunakan untuk memberikan masukan terhadap analisis elemen hingga.

Penelitian yang didiskusikan di atas sepenuhnya merujuk pada McGown dan Jarrett (1997b).

## 4.4 PENGUJIAN KONSOLIDASI

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. Pengujian ini dijelaskan pada Bagian 4.4.1. Prosedur untuk menentukan sifat konsolidasi menggunakan sel hidrolik dijelaskan pada Bagian 4.4.2.

#### 4.4.1 Uji Konsolidasi Satu Dimensi

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*.

ASTM D2435-90 memberikan dua metode pengujian sebagai berikut:

*Metode Pengujian A:* pengujian dilakukan dengan suatu penambahan kenaikan beban yang konstan atau kelipatannya selama 24 jam. Bacaan waktu-deformasi diperlukan sekurang-kurangnya untuk dua tambahan beban, termasuk sedikitnya satu tambahan setelah tekanan prakonsolidasi telah dilewati.

*Metode Pengujian B:* bacaan waktu-deformasi diperlukan untuk semua tambahan beban. Tambahan beban secara berturut-turut diberikan setelah 100% konsolidasi primer dicapai atau setelah kenaikan waktu menjadi konstan seperti dijelaskan pada Metode Pengujian A.

Tahap pembebanan standar menggunakan suatu rasio penambahan beban satu (artinya tekanan yang diberikan pada tahap manapun harus dua kali tekanan tahap sebelumnya secara berurutan) untuk mendapatkan nilai sekitar 12, 25, 50, 100 kPa dan seterusnya. (Pada waktu konsolidometer diletakkan pada alat pembebanan, harus diberikan tekanan dudukan sebesar 5 kPa). Urutan pelepasan beban balik dilakukan dengan membagi dua besarnya tekanan pada tanah yaitu tambahan yang sama seperti diterangkan di atas tetapi dengan urutan yang terbalik. Bila diinginkan, beban untuk pelepasan besarnya dapat sama dengan seperempat dari beban sebelumnya.

*Sifat hubungan waktu deformasi:* untuk tambahan beban setelah bacaan waktu-deformasi diperoleh, dua prosedur alternatif diberikan untuk menyajikan data, menentukan akhir konsolidasi primer dan menghitung laju konsolidasi. Pada prosedur pertama, pemerataan dilakukan untuk deformasi terhadap log waktu, dan kedua terhadap akar kuadrat waktu. Nilai yang sesuai dengan prosedur yang digunakan dimasukkan ke dalam suatu persamaan untuk menghitung koefisien konsolidasi  $c_v$  untuk masing-masing tambahan beban.

Koefisien kompresi sekunder dievaluasi untuk masing-masing tambahan beban dan didapatkan dari grafik deformasi terhadap log waktu.

*Sifat hubungan beban-deformasi*: karakteristik pemampatan diperoleh dengan melakukan pemeraan pemampatan benda uji (dalam bentuk angka pori atau regangan) sebagai ordinat terhadap tekanan yang diberikan sebagai absis, pada skala logaritmik. Tekanan prakonsolidasi (tekanan maksimum yang dialami tanah) ditentukan dari hasil pemeraan tersebut dengan menggunakan Metode Casagrande.

Metode pengujian menggunakan teori konsolidasi konvensional berdasarkan persamaan konsolidasi Terzaghi untuk menghitung koefisien konsolidasi  $c_v$ . Analisis didasarkan pada asumsi-asumsi berikut ini:

- tanah jenuh dan memiliki sifat homogen,
- aliran tekanan pori arahnya vertikal,
- kompresibilitas partikel tanah dan air pori dapat diabaikan bila dibandingkan terhadap kemampatan uraian butir tanah,
- hubungan tegangan-regangan linear sepanjang tambahan beban.
- perbandingan permeabilitas tanah terhadap kemampatan tanah konstan sepanjang penambahan beban,
- hukum Darcy untuk aliran melalui media berpori berlaku.

Perbandingan diameter benda uji minimum terhadap perbandingan tinggi adalah 2,5 tetapi untuk memperkecil pengaruh gesekan antara sisi benda uji dan cincin konsolidometer, perbandingan diameter terhadap tinggi yang lebih besar dari 4 lebih baik.

Gangguan pada contoh tanah sangat mengurangi kualitas dari hasil uji pengujian konsolidasi; pemeriksaan yang teliti terhadap contoh penting dilakukan pada waktu pemilihan contoh tanah untuk pengujian. Pengujian harus dilakukan pada suatu kondisi dimana fluktuasi suhu kurang dari  $\pm 4^\circ\text{C}$  dan tidak boleh langsung terkena sinar matahari.

#### *Aplikasi*

Data yang diperoleh dari pengujian, bila dilakukan pada benda uji tak terganggu yang mewakili dan berkualitas baik, memungkinkan besarnya penurunan di bawah suatu struktur untuk diperkirakan. Nilai koefisien konsolidasi memungkinkan untuk mendapatkan indikasi kecepatan penurunan teoritis. Meskipun demikian, waktu penurunan yang diprediksi bisa lebih lama dari kenyataannya dalam praktek dan harus diperhatikan secara baik.

#### **4.4.1.1**

#### **Penentuan Karakteristik Pengembangan dan Keruntuhan**

ASTM D4546-90 menjelaskan tiga alternatif metode laboratorium untuk menentukan besarnya pengembangan atau penurunan dari tanah kohesif yang relatif tak terganggu atau dipadatkan.

Metode pengujian bisa digunakan untuk:

- (i) menentukan besarnya pengembangan atau penurunan akibat tekanan (aksial) vertikal yang diketahui atau,
- (ii) menentukan besarnya tekanan vertikal yang diperlukan untuk mempertahankan volume dari benda uji yang ditahan secara lateral dan dibebani secara aksial.

Alat yang digunakan adalah sama dengan yang dipakai untuk pengujian konsolidasi satu dimensi (ASTM D2435-90) yang dijelaskan pada Bagian 4.4.1 di atas.

Prosedur dijelaskan pada Butir 4, BS 1377 : Part 5 : 1990 untuk penentuan karakteristik pengembangan dan keruntuhan tanah dengan menggunakan alat yang sama seperti untuk konsolidasi satu dimensi yang dijelaskan pada Butir 3.

#### 4.4.2

#### **Penentuan Sifat Konsolidasi Menggunakan Sel Hidrolik**

Bab 3 BS 1377 : Part 6 : 1990 menjelaskan prosedur untuk menentukan besar dan kecepatan konsolidasi benda uji yang mempunyai permeabilitas yang relatif rendah menggunakan alat yang memberi beban secara hidrolik (Alat yang dikenal sebagai Sel Rowe termasuk jenis ini).

Benda uji berbentuk silinder, ditahan secara lateral dan diberi tekanan aksial vertikal secara hidrolik. Diameter benda uji biasanya berkisar antara 75 mm sampai 254 mm, dan benda uji dapat dianggap lebih mewakili dibandingkan dengan yang digunakan pada konsolidometer standar. Berbagai arah drainase dapat dipilih:

- drainase vertikal hanya ke permukaan sebelah atas, dengan pengukuran tekanan pori pada tengah-tengah alas,
- drainase vertikal ke kedua permukaan sebelah atas dan bawah,
- drainase radial hanya ke arah luar, dengan pengukuran tekanan pori pada poros alas,
- drainase radial ke arah dalam menuju suatu drainase ke poros tengah dengan pengukuran tekanan pori pada satu atau lebih titik di luar poros.

Permeabilitas pada arah horisontal dan vertikal bisa ditentukan dengan menggunakan alat yang sama, dengan beberapa peralatan tambahan, seperti dijelaskan pada Bab 4, BS 1377 : Part 6 : 1990.

#### 4.4.3

#### **Diskusi Mengenai Uji Laboratorium untuk Menentukan Karakteristik Konsolidasi Tanah Organik dan Gambut**

Mc Gown dan Jarret (1997b) telah mengamati bahwa terdapat variasi pada perilaku tanah organik yang membutuhkan kehati-hatian pada waktu menganalisis konsolidasinya; perhatian harus diberikan pula terhadap perubahan yang besar pada sifat material seperti permeabilitas pada rentang tegangan yang relatif kecil, ketidaklinearan grafik pemampatan, dan pengaruh ketergantungan terhadap waktu yang besar. Walaupun demikian, seperti yang

dinyatakan oleh penulis tersebut, parameter yang layak untuk konsolidasi primer dapat diperoleh dari pengujian yang cermat terhadap benda uji yang besar; benda uji dengan diameter minimum 100 mm dan lebih baik 150 mm atau lebih besar diperlukan untuk mencakup variabilitas skala kecil.

Tantangan utama dalam menginterpretasi data menurut McGown dan Jarret adalah membedakan antara pemampatan primer dan sekunder bila perilaku penurunan versus waktu pada pengujian tidak mengikuti pola yang normal seperti pada tanah lunak inorganik. Pada saat ini belum ada kesepakatan mengenai metodologi yang diterima semua pihak untuk mengatasi masalah ini, dan pendekatan yang disarankan oleh penulis tersebut untuk analisis satu dimensi adalah dengan mengikuti prosedur biasa untuk mendapatkan hubungan dasar tegangan yang diberikan versus angka pori kemudian. Studi yang cermat terhadap hasil tersebut diperlukan untuk menilai koefisien pemampatan sekunder. Ini bisa dibantu dengan melakukan pengujian konsolidasi pada tambahan beban tunggal yang besar yang mencakup rentang tegangan dari yang dihadapi. Problem selanjutnya adalah bagaimana mengkombinasikan konsolidasi primer dan sekunder.

## 4.5 UJI PERMEABILITAS

Sifat tanah mendasar yang berkaitan dengan aliran fluida adalah permeabilitas. Karakteristik cairan (atau *permean*) dan tanah yang mempengaruhi permeabilitas dibahas oleh Lambe dan Whitman (1979).

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

Karakteristik tanah yang mempengaruhi permeabilitas adalah:

- 1) ukuran partikel,
- 2) angka pori,
- 3) komposisi,
- 4) fabrik,
- 5) 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.

Dinyatakan oleh Lambe dan Whitman (1979) bahwa penentuan permeabilitas laboratorium lebih mudah dibandingkan penentuan di lapangan. Meskipun demikian, permeabilitas sangat bergantung pada *fabric* tanah (baik *Struktur mikro dan Struktur makro*) dan karena sulitnya mengambil contoh tanah yang mewakili, penentuan permeabilitas lapangan sering diperlukan untuk mendapatkan petunjuk permeabilitas rata-rata yang baik.

Butir 5 BS 1377: Part: 1990 menjelaskan prosedur untuk penentuan permeabilitas menggunakan permeameter tinggi tekan tetap dimana aliran air melalui contoh adalah laminar. Volume air yang melewati tanah pada selang waktu yang diketahui diukur, dan gradien hidrolik diukur menggunakan tabung manometer. *Prosedur ini cocok untuk tanah dengan koefisien permeabilitas antara  $10^{-2}$  sampai  $10^{-5}$  m/detik.*

Butir 6 BS 1377: Part 6: 1990 menjelaskan metode untuk mengukur koefisien permeabilitas benda uji silinder pada alat triaksial pada kondisi tegangan efektif yang diketahui, dan di bawah tekanan balik. Volume air yang melalui tanah pada selang waktu yang diketahui, dan gradien hidrolik yang konstan, diukur.

Metode ini cocok untuk tanah-tanah yang mempunyai permeabilitas rendah dan menengah.

Benda uji biasanya mempunyai diameter sekitar 100 mm dan tinggi 100 mm tetapi benda uji dengan dimensi dari diameter 38 mm ke atas dapat digunakan. Sebelum memulai pengujian, kondisi pengujian berikut harus ditetapkan:

- ukuran benda uji,
- arah aliran air,
- metode penjenjutan,
- tegangan efektif pada masing-masing pengukuran permeabilitas yang akan dilaksanakan,
- apakah angka pori harus dihitung atau tidak.

Pengaturan sel dan peralatan untuk pengujian permeabilitas triaksial diperlihatkan pada *Gambar 10* BS 1377: Part 6: 1990.

Metode penentuan permeabilitas pada sel konsolidasi hidrolik dijelaskan pada Butir 4, BS 1377: Part 6: 1990. Metode tersebut meliputi pengukuran koefisien permeabilitas dari benda uji yang ditahan secara lateral dengan tegangan efektif vertikal yang diketahui, dan diberi tekanan balik. Volume air yang melewati tanah pada selang waktu yang diketahui, dan dengan suatu gradien hidrolik konstan, diukur. Arah aliran bisa vertikal (paralel terhadap sumbu benda uji) atau horisontal (ke arah luar atau dalam secara radial).

Metode ini cocok untuk jenis tanah dengan permeabilitas rendah dan menengah.

## 4.6

## **SPESIFIKASI PROGRAM DAN PARAMETER PENGUJIAN LABORATORIUM**

Ahli geoteknik harus menetapkan pengujian yang akan dilaksanakan pada contoh tanah yang diambil dari masing-masing lubang bor dan, bila perlu, kondisi-kondisi tegangan dan kelembaban yang akan digunakan pada saat pelaksanaan pengujian. Ia harus memberikan program pengujian tertulis yang rinci kepada manajer laboratorium yang akan melaksanakan dan disertai parameter pengujian yang akan digunakan. Contoh format yang disarankan untuk merinci program pengujian dan catatannya diberikan di bawah. Jadwal pengujian umum disertakan pada Bagian 3.

### 4.6.1

### **Program Pengujian Laboratorium**

Proyek Panduan Indon-GMC di Pustrans Bandung yang terutama merupakan proyek penelitian dan penyelidikan lapangan dan laboratorium, didesain dengan tujuan untuk meneliti karakteristik tanah lunak dan gambut pada lokasi-lokasi yang representatif di Indonesia. Lokasi yang diteliti termasuk daerah 'tanah lunak' di Bandung yang berdekatan dengan jalan tol Padalarang-Cileunyi (Panci) dan daerah 'gambut' di Pulang Pisau Kalimantan Tengah. Program pengujian laboratorium yang dikembangkan, instruksi yang diberikan kepada tim lapangan dan parameter pengujian laboratorium yang ditetapkan, menggambarkan pendekatan terhadap penyelidikan lapangan yang terintegrasi.

Instruksi rinci yang diberikan kepada tim pemboran lokasi Panci diperlihatkan pada Gambar 4-10. Program pengujian laboratorium yang dikembangkan untuk Lubang Bor 103 dan 105 Panci diperlihatkan pada Gambar 4-11 dan 4-12, program pengujian yang dikembangkan untuk contoh yang diambil dari Lubang Bor 201 dan 203 di tempat 'gambut' Pulang Pisau diperlihatkan pada Gambar 4-13 dan 4-14.

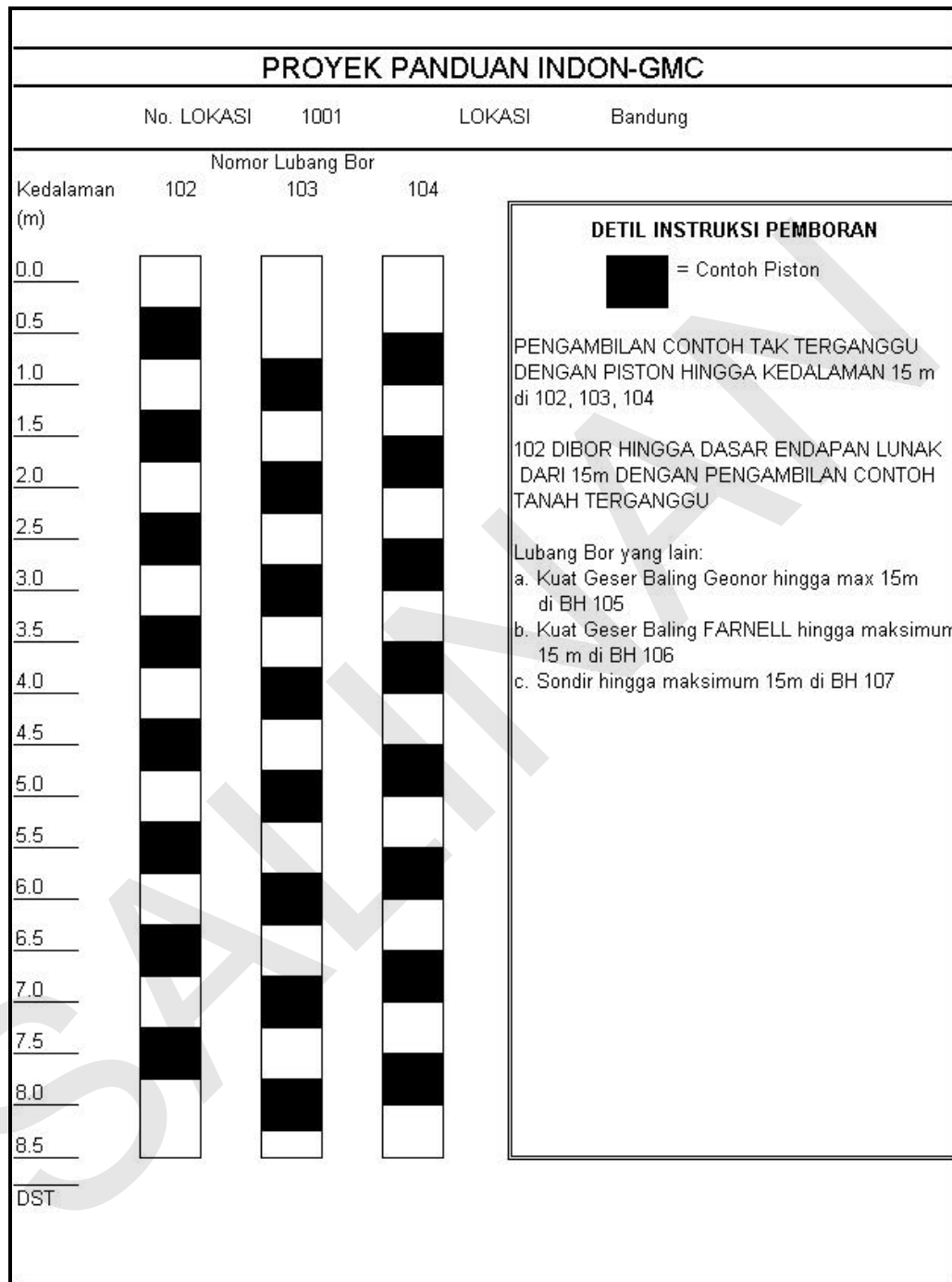
### 4.6.2

### **Parameter Pengujian Laboratorium**

Gambar 4-15 dan 4-16, memperlihatkan parameter pengujian yang digunakan saat melaksanakan program pengujian yang ditetapkan untuk Lubang Bor 103 dan 105 Panci (Gambar 4-11 dan 4-12); parameter pengujian diberikan pada Gambar 4-17 dan 4-18 untuk program pengujian yang dikembangkan untuk Lubang Bor 201 dan 203 Pulang Pisau (Gambar 4-13 dan 4-14).

Instruksi yang diberikan kepada tim lapangan dan laboratorium untuk penyelidikan Panci dan Pulang Pisau cukup komprehensif dan jelas. Pengujian yang akan dilaksanakan pada masing-masing contoh dari masing-masing lubang bor ditentukan, seperti halnya parameter pengujian. Rujukan dibuat terhadap standar yang sesuai karena penting untuk melakukan pengujian. Tidak semua dari pengujian yang diperlihatkan pada program pengujian mungkin diperlukan untuk suatu penyelidikan tertentu. Meskipun demikian, apapun ruang lingkup pekerjaan, tingkat rincian yang sama diperlukan saat menetapkan parameter pengujian dan prosedur pengujiannya.





**Gambar 4-10** Contoh Instruksi Pengambilan Contoh Tanah Pada Lubang Bor



NO. CONTOH TANAH	KEDA-LAMAN m	PANJANG CONTOH TANAH (cm)	UJI TRIAKSIAL			UJI GESER LANGSUNG	UJI BALING-BALING	UJI KONSOLIDASI		UJI KLASIFIKASI
			UU	CU	CD			VERTIKAL	HORIZONTAL	
PS 1		0.4	Xd			X		Xd	Xd	Xd
PS 2		0.4				X	X	Xd	Xd	Xd
PS 3		0.44	Xd			X		Xd	Xd	Xd
PS 4		0.33				X	X	Xd	Xd	Xd
PS 5		0.4	Xd			X		Xd	X	Xd
PS 6		0.4				Xd	X	X	X	Xd
PS 7		0.4	Xd			Xd		X	X	Xd
PS 8		0.4				X	X	X	X	Xd
PS 9		0.4	X			X		X	X	X
PS 10		0.4				X	X	X	X	X
PS 11		0.42				X		X		X
PS 12		0.38	X			X		X		X
PS 13		0.4				X	X	X	X	X
PS 14		0.41	X			X		X	X	X
PS 15		0.41				X	X	X	X	X
PS 16		0.4	X			X		X	X	X

Klasifikasi terdiri dari rangkaian uji lengkap :  
 \* Batas-batas Atterberg  
 \* Pembagian Ukuran Butir  
 \* Uji Hilang Pijar  
 \* pH  
 \* Pengujian-pengujian Kimia, - Kadar Garam, Kadar Karbonat, Kadar Sulfat, Kadar Organik

Gambar 4-11 Program Pengujian Laboratorium BH 103 Panci

NO. CONTOH TANAH	KEDA-LAMAN m	PANJANG CONTOH TANAH (cm)	UJI TRIAKSIAL			UJI GESER LANGSUNG	UJI BALING-BALING	UJI KONSOLIDASI		UJI KLASIFIKASI
			UU	CU	CD			VERTIKAL	HORIZONTAL	
PS 1		0.3		X				X		X
PS 2		0.4						X		X
PS 3		0.4		X	X			X		X
PS 4		0.4						X		X
PS 5		0.4		X	X			X		X
PS 6		0.4						X		X
PS 7		0.4		X	X			X		X
PS 8		0.4						X		X
PS 9		0.4		X	X			X		X
PS 10		0.4						X		X
PS 11		0.33		X	X			X		X
PS 12		0.4						X		X
PS 13		0.4		X	X			X		X
PS 14		0.4						X		X

Klasifikasi terdiri dari rangkaian uji lengkap :  
 \* Batas-batas Atterberg  
 \* Pembagian Ukuran Butir  
 \* Uji Hilang Pijar  
 \* pH  
 \* Pengujian-pengujian Kimia, - Kadar Garam, Kadar Karbonat, Kadar Sulfat, Kadar Organik

Gambar 4-12 Program Pengujian Laboratorium BH 105 Panci

NO. CONTOH TANAH	JENIS TANAH	TIPE CONTOH TANAH	KEBALAMPAH m	PANJANG CONTOH TANAH (cm)	UJI TRIAKSIAL			UJI GESER LANGSUNG	UJI BALING BALING	UJI KONSOLIDASI		UJI KLASIFIKASI
					UJI	CU	CB			VERTIKAL	HORIZONTAL	
201.001	Gambut	PS	0.5-0.93	0.43		X				X		X
201.002	Gambut	DS	1.40-1.50									X
201.003	Gambut	DS	1.50-1.90									X
201.004	Gambut	PS	2.50-2.93	0.43		X				X		X
201.005	Gambut	PS	3.50-3.93	0.43			X			X		X
201.006	Gambut	PS	4.50-4.93	0.43		X				X		X
201.007	Gambut	PS	5.50-5.93	0.43		X				X		X
201.008	Lempung Organik	PS	6.50-6.93	0.43		X				X		X
201.009	Lempung	PS	7.50-7.93	0.43			X			X		X
201.010	Lempung	PS	8.50-8.93	0.43		X				X		X
201.011	Lempung	PS	9.50-9.93	0.43			X			X		X
201.012	Lempung	PS	10.50-10.93	0.43		X				X		X
201.013	Pasir Kelempungan	PS	11.50-11.93	0.43			X			X		X
201.014	Pasir Kelempungan	DS	11.93-11.93									X

**KLASIFIKASI:** untuk Gambut lakukan Pengujian LI dan PL, Kadar Serat, Van Poot, Kadar Organik, Uji Hilang Pijar dan Kimia, pH dan Konduktivitas.  
Untuk leleh jelasnya, lihat komentar untuk Kalimantan.  
Untuk lempung, sama seperti untuk lokasi di Pantai.

Gambar 4-13 Program Pengujian Laboratorium BH 201 Pulang Pisau

NO. CONTOH TANAH	JENIS TANAH	TIPE CONTOH TANAH	KEBALAMPAH m	PANJANG CONTOH TANAH (cm)	UJI TRIAKSIAL			UJI GESER LANGSUNG	UJI BALING BALING	UJI KONSOLIDASI		UJI KLASIFIKASI
					UJI	CU	CB			VERTIKAL	HORIZONTAL	
203.001	Gambut	PS	0.5-0.93	0.48		X				X		X
203.002	Gambut	DS	1.40-1.50									X
203.003	Gambut	DS	1.50-1.90	0.48								X
203.004	Gambut	PS	2.50-2.93	0.48		X				X		X
203.005	Gambut	DS	3.50-3.93	0.48			X			X		X
203.006	Gambut	PS	4.50-4.93	0.48		X				X		X
203.007	Lempung Organik	PS	5.50-5.93	0.48		X				X		X
203.008	Lempung	PS	6.50-6.93	0.48		X				X		X
203.009	Lempung	PS	7.50-7.93	0.48			X			X		X
203.010	Lempung	PS	8.50-8.93	0.48		X				X		X
203.011	Lempung	PS	9.50-9.93	0.48			X			X		X
203.012	Lempung	PS	10.50-10.93	0.48		X				X		X
203.013	Pasir Kelempungan	PS	11.50-11.93	0.48			X			X		X
203.014	Pasir Kelempungan	DS	11.93-11.93									X

**CATATAN:** Pada formulir yang diserahkan ada dua contoh 203.002 yang disediakan sebagai sebuah contoh CG tetapi memiliki panjang sampel seperti pada PG melebihi ukuran PG seperti yang diharapkan. Contoh-contoh ini juga menunjukkan panjang maksimum 0.48m, siapa tahu jika ini dapat terjadi tanpa "pemeriksaan ketebalan (settlement)" pada contoh. Hal ini harus diklarifikasi.  
Dalam menyusun pengujian ini, saya menggunakan Kotak Geser telah diubah menjadi contoh dengan ketebalan 25mm. Saya masih lebih menyukai agar dilakukan pengujian konsolidasi yang terdistribusi sempurna pada kotak geser ini. Jika ini harus dilakukan pada tingkat Tegangan Normal yang berada pada kisaran Tegangan Efektif Lapangan.

**KLASIFIKASI:** untuk Gambut lakukan Pengujian LI dan PL, Kadar Serat, Van Poot, Kadar Organik, Uji Hilang Pijar dan Kimia, pH dan Konduktivitas.  
Untuk leleh jelasnya, lihat komentar untuk Kalimantan.  
Untuk lempung, sama seperti untuk lokasi di Pantai.

Gambar 4-14 Program Pengujian Laboratorium BH 203 Pulang Pisau

- 1) Pengujian untuk tabung-tabung ini harus dikoordinasikan oleh Manajer Laboratorium untuk menjamin bahwa sebagian besar pengujian UU, Geser Langsung dan Konsolidasi bisa dimulai secara serentak.
- 2) Uji Triaksial UU harus menggunakan tekanan sel berikut:
  - PS. 1,3,5,7      0.2 dan 0.8 kg/cm<sup>2</sup>
  - PS 9, 12, 14, 16    0.4 dan 1.6 kg/cm<sup>2</sup>
- 3) Uji Geser Langsung harus menggunakan tegangan normal berikut:
  - PS 1 sampai PS 7      0,2, 0,4 dan 0,8 kg/cm<sup>2</sup>
  - PS 8 sampai PS 16      0,4, 0,8 dan 1,6 kg/ cm<sup>2</sup>
  - Upaya harus dilakukan untuk merubah alat sehingga contoh bisa lebih tebal dan supaya pengujian bisa lebih lambat untuk menjamin contoh sepenuhnya terdrainase selama penggeseran.
- 4) Uji Baling-baling harus dilakukan pada tabung PS 2, 4, 6, 8, 10, 13, 15 dengan uji baling-baling di antara kedalaman berikut dari permukaan atas contoh:
  - 2,5 sampai 5,0 cm
  - 7,5 sampai 10,0 cm
  - 23 sampai 25,5 cm
  - 36,5 sampai 39 cm
  - Prosedur uji baling adalah memasukkan dengan SANGAT HATI-HATI baling-baling sehingga ujung atas baling-baling berada 2,5 cm dari permukaan tanah, lalu lakukan pengujian.
- 5) Benda uji untuk Konsolidasi harus diambil dari 12,5 sampai 20,5 cm dari ujung atas contoh tanah.
- 6) Benda uji untuk Geser Langsung harus diambil dari 28 sampai 34 cm dari ujung atas contoh tanah.

**Gambar 4-15** Komentar Pengujian BH 103 Panci

- 1) Uji Triaksial CU harus dilakukan terlebih dahulu dengan benda uji Triaksial CD disim pan sebagai cadangan sampai hasil uji Triaksial CU telah selesai dianalisis.
- 2) Tabung tidak boleh dibuka sampai benda uji untuk triaksial CU dari tabung tersebut diperelukan. Setelah benda uji untuk triaksial CU dikeluarkan, dilakukan uji konsolidasi dan klasifikasi untuk tabung tersebut bisa dilakukan.
- 3) Uji triaksial klasifikasi dilaksanakan pada 5 cm bagian atas setiap tabung ditambah kelebihan bahan yang dipotong dari sekitar benda uji lainnya. Kadar air asli diperoleh dari pemotongan semua benda uji untuk mendapatkan suatu profil lengkap kadar air terhadap kedalaman.
- 4) Uji Triaksial Terkonsolidasi Tak Terdrainase dengan pengukuran tekanan air pori.  
Tekanan Balik minimum harus sebesar  $1.0 \text{ kg/cm}^2$   
Tekanan sel efektif harus seperti yang ditunjukkan berikut untuk 3 benda uji pada masing-masing set:
 

PS 2 dan PS 4,	0,2, 0,4, 0,8 $\text{kg/cm}^2$
PS 6 dan PS 8,	0,3, 0,6, 1,2 $\text{kg/cm}^2$
PS 10 dan PS 12,	0,4, 0,8, 1,6 $\text{kg/cm}^2$
PS 14,	0,5, 1,0, 2,0 $\text{kg/cm}^2$

  - catatan: Tekanan Sel Efektif = Tekanan Sel – Tekanan Balik,
  - pada tahap awal Kecepatan Regangan 2% per jam disarankan untuk digunakan untuk memungkinkan keruntuhan geser terjadi dalam waktu Tujuh Jam (Jam Kerja). Hal ini bisa dirubah setelah didapat pengalaman pengujian,
  - fase konsolidasi dilakukan dengan drainase dari KEDUA ujung benda uji,
  - drainase spiral bisa digunakan untuk mempercepat konsolidasi,
  - lakukan dan analisis percobaan Kecepatan Konsolidasi, dengan melakukan beberapa pengujian dengan drainase satu arah dan pengukuran tekanan air pori selama akan konsolidasi. Pengujian ini untuk meyakinkan bahwa konsolidasi primer akan selesai selama periode konsolidasi semalam yang ditetapkan pada jadwal. Hal ini juga memungkinkan untuk mengevaluasi apakah drainase spiral diperlukan untuk jenis tanah tersebut,
  - pengujian koefisien Air Pori, B, uji untuk ini harus dilakukan,
- 5) Klasifikasi:
  - pengujian harus dilakukan mengikuti standar ASTM kecuali jika dinyatakan lain dan dimulai dari kadar air ASLI tanpa pengeringan kecuali jika standar menyatakan sebaliknya,
  - LL, PL, SL dari kadar air asli,
  - PSD dimulai dengan Contoh Basah dari kadar air asli
  - Uji hilang pijar, standar ASTM, keringkan bahan dengan oven sebagai permulaan pengujian,
  - pH, bisa dimulai dengan contoh basah atau kering,
  - pengujian kimia, pengujian oksidasi kimia untuk mendapatkan kadar organik harus mengikuti British Standard seperti dijelaskan oleh Prof. Head. Pengujian ini menggunakan Kalium Dikromat dan bahan kimia lain dan untuk keselamatan pribadi penanganan bahan-bahan kimia tersebut harus dilakukan dengan hati-hati sekali.

**Gambar 4-16** Komentar Pengujian BH 105 Panci

- 1) Uji triaksial CU harus dilakukan terlebih dahulu, benda uji CD disimpan sebagai cadangan sampai hasil pengujian CU telah selesai dianalisis.
- 2) Tabung-tabung tidak boleh dibuka sampai benda uji untuk triaksial CU dari tabung tersebut dibutuhkan. Baru setelah benda uji untuk uji triaksial CU dikeluarkan pengujian konsolidasi dan klasifikasi untuk tabung tersebut dapat dilakukan.
- 3) Pengujian klasifikasi dilakukan pada 5 cm bagian atas setiap tabung ditambah kelebihan bahan yang dipotong dari sekitar benda uji lainnya. Kadar air asli diperoleh dari sisi pemotongan semua benda uji untuk membentuk profil lengkap kadar air terhadap kedalaman.
- 4) Pengujian Terkonsolidasi Tak Terdrainase dengan pengukuran tekanan air pori.  
Tekanan Balik minimum harus sebesar  $1.0 \text{ kg/cm}^2$   
Tekanan sel efektif harus seperti yang ditunjukkan berikut untuk 3 benda uji pada masing-masing set:  

201.001, 201.004, 201.006	0,1, 0,2, 0,4 $\text{kg/cm}^2$
201.007, 201.008, 201.010	0,2, 0,4, 0,8 $\text{kg/cm}^2$
201.012,	0,4, 0,8, 1,6 $\text{kg/cm}^2$

Catatan: Tekanan Sel Efektif = Tekanan Sel - Tekanan Balik

  - pada tahap awal Kecepatan Regangan 2% per jam disarankan digunakan untuk memungkinkan keruntuhan geser terjadi dalam waktu Tujuh Jam (Jam Kerja). Hal ini bisa dirubah bila pengalaman pengujian bertambah,
  - fase konsolidasi harus dilakukan dengan drainase dari KEDUA ujung benda uji,
  - drainase Spiral bisa digunakan untuk mempercepat konsolidasi atau penyamaan air pori,
  - lakukan dan analisa percobaan Kecepatan Konsolidasi, dengan melakukan beberapa pengujian dengan drainase satu arah dan pengukuran tekanan air pori selama konsolidasi. Pengujian ini untuk meyakinkan bahwa konsolidasi primer telah selesai selama periode konsolidasi satu malam yang ditetapkan pada jadwal. Hal ini juga memungkinkan untuk mengevaluasi apakah drainase spiral dibutuhkan untuk jenis tanah ini.
  - koefisien Air Pori, B, uji untuk ini harus akan dilakukan.
- 5) Klasifikasi untuk lempung, instruksi mengikuti seperti untuk Panci.
- 6) Klasifikasi untuk gambut.
  - pengujian harus dilakukan mengikuti standar ASTM kecuali jika dinyatakan lain dan harus dimulai dari kadar air ASLI tanpa pengeringan kecuali jika instruksi menunjukkan sebaliknya,
  - LL dan PL, dari kadar air asli,
  - penentuan Kadar Serat, ASTM D 1997, contoh basah dari kadar air asli,
  - uji hilang pijar, Standar ASTM D2974, keringkan material dengan oven sebagai permulaan pengujian,
  - pH. ASTM D2976. Meskipun begitu harus menggunakan suatu pengujian yang dirubah yang dikeluarkan oleh Ontario Geological Survey karena ini memungkinkan KONDUKTIVITAS diambil pada benda uji yang sama. Mulai dengan benda uji pada kadar air ASLI,
  - pengujian kimia, pengujian oksidasi kimia untuk mendapatkan kadar organik harus mengikuti British Standard seperti dijelaskan oleh Prof. Head. Pengujian menggunakan Kalium Dikromat dan bahan kimia lain, dan untuk keselamatan pribadi penanganan bahan kimia tersebut harus dilakukan dengan hati-hati sekali.

Gambar 4-17 Komentar Pengujian BH 201Pulang Pisau

- Gambar 4-18** Komentar Pengujian BH 203 Pulang Pisau

## KONSISTENSI DATA

Korelasi ini bisa digunakan dengan berbagai cara. Pada proyek yang relatif tidak begitu penting dan anggaran yang tersedia untuk penyelidikan terbatas, karakteristik kuat geser dan kompresibilitas *bisa diperkirakan berdasarkan* hasil uji indeks. Pada proyek yang lebih penting, di mana kuat geser dan kompresibilitas tanah ditentukan langsung dari laboratorium, korelasi bisa digunakan untuk *pengujian terhadap konsistensi data* dan oleh karenanya merupakan elemen yang penting dalam suatu proses pengendalian mutu.

Bila selama penyelidikan, terdapat perbedaan yang mencolok antara sifat-sifat yang diduga dan yang diukur, ini harus diungkapkan agar segera menjadi

perhatian Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Jika perbedaan tidak dapat diterima, data tersebut harus ditolak. Namun, data yang ditolak harus dimasukkan dalam laporan faktual disertai alasan penolakannya.

Contoh tidak terganggu diperlukan untuk uji kekuatan dan kompresibilitas. Topik penting ini dicakup pada Bagian 5 dari Panduan Geoteknik ini dimana prosedur yang diberikan dalam ISSMFE (1981) untuk menilai kualitas contoh relatif berdasarkan data pengujian laboratorium dijelaskan.

Agar suatu sistem uji ulang silang efektif dan berfungsi sesuai dengan yang dimaksudkan, begitu didapat data mentah harus segera dilakukan pemeriaan pada grafik sehingga tindakan perbaikan, jika diperlukan, bisa dilakukan sesegera mungkin.

Pemeriaan tanah yang diberikan pada catatan pemboran lapangan juga perlu diperiksa konsistensinya terhadap data hasil pengujian laboratorium. Suatu praktek standar dari ASTM untuk mengenali dan memeriaan tanah dirinci pada Bagian 6.2 dari Panduan Geoteknik ini; praktek ini bisa diterapkan baik di lapangan maupun di laboratorium. Praktek tersebut harus digunakan sebagai standar untuk diidentifikasi lapangan dan pemeriaan tanah. Meskipun demikian, seperti dinyatakan dalam Bagian 6.2, inspeksi lapangan terhadap contoh inti harus dilakukan hanya oleh personil yang berpengalaman. Ketidakkonsistenan antara pemeriaan dan identifikasi lapangan dan laboratorium harus diselesaikan sebelum laporan faktual untuk kedua penyelidikan disetujui.

Penekanan yang diberikan pada Panduan Geoteknik ini terhadap pengujian indeks dimaksudkan untuk mencerminkan peran penting yang dimilikinya dalam proses penyelidikan tanah. Pengujian harus dilakukan tidak hanya sebagai suatu rutinitas belaka, tetapi dengan perhatian penuh terhadap tujuan dari hasil pengujian tersebut. Jika hasil pengujian indeks tidak dapat diandalkan, maka hasil tersebut sama sekali tidak bernilai untuk dipakai untuk uji data atau untuk menduga data lainnya. Pengujian ini harus ditugaskan kepada personil yang berpengalaman yang mengikuti prosedur pengujian dengan ketat, yang paham akan tujuan dari data pengujian dan yang menjamin bahwa peralatan dirawat dan dikalibrasi dengan baik.

## **5 Kualitas dan Kerusakan Contoh Tanah**

### **5.1 PENDAHULUAN**

Kualitas contoh tanah dan penyebab gangguan padanya dijelaskan pada Panduan Geoteknik 2.

### **5.2 PROSEDUR LABORATORIUM UNTUK MEMPERKECIL GANGGUAN PADA TANAH**

Penyebab gangguan yang terjadi terhadap contoh tanah telah diklasifikasikan oleh Hvorslev sebagai berikut:

- perubahan kondisi tegangan,
- perubahan kadar air dan angka pori,
- perubahan pada struktur tanah,
- perubahan kimiawi,
- pencampuran dan segregasi dari unsur-unsur tanah.

Perubahan terhadap kondisi tegangan tidak dapat diabaikan. Meskipun demikian, sebuah contoh tanah mungkin saja cocok untuk pengujian laboratorium, dan untuk praktisnya dapat dianggap sebagai tak terganggu, jika gangguan lainnya dapat dicegah atau paling tidak dijaga seminimal mungkin. Penilaian kualitas relatif dari sebuah contoh tanah hanya dapat dilakukan bila hasil pengujian telah didapat dan telah dievaluasi. ISSMFE (1981) memberikan dasar untuk melakukan penilaian tersebut dan dikemukakan kembali pada bab 5.4 pada bagian berikut.

Pengalaman dan penelitian telah menghasilkan suatu prosedur laboratorium yang jika dilaksanakan secara tepat, diharapkan dapat memperkecil gangguan pada contoh tanah selama proses penyimpanan, pemindahan dan penanganan serta persiapan benda uji. Prosedur ini akan dibahas pada bab-bab berikut.

#### **5.2.1 Penyimpanan Contoh Tanah**

Sebagai aturan umum, contoh harus diuji sesegera mungkin setelah tiba di laboratorium. Kapasitas dari laboratorium, seperti peralatan dan teknisi yang ada, biasanya akan menentukan lamanya suatu contoh tersimpan di tempat



penyimpanan. Adalah merupakan suatu kehati-hatian bila sebagian dari contoh tanah dijadikan cadangan untuk pengujian kemudian, untuk memeriksa kembali bila ada data yang tidak konsisten. Contoh untuk keperluan ini akan disimpan untuk waktu yang relatif lama dan perhatian khusus harus diberikan terhadap kondisi ruang penyimpanannya.

Untuk memperkecil gangguan yang terjadi pada contoh tanah selama penyimpanan, tindakan pencegahan standar yang harus diambil adalah dengan menyimpan tabung contoh di ruangan dengan:

- kelembaban relatif mendekati 100 persen,
- temperatur dengan kisaran yang sama dengan kondisi dari mana contoh tersebut diambil.

Ruangan tersebut harus memiliki ukuran yang cukup yang dapat menampung jumlah contoh tanah sehingga tidak terlalu berdesakan.

Brand & Brenner (1981) mengatakan bahwa walaupun contoh disediakan ruang penyimpanan terbaik, contoh tanah kondisinya tetap saja akan memburuk seiring berjalannya waktu. Distribusi kembali dari air, bakteri, memburuk akibat aktivitas kimia, pengembangan dan pengeringan merupakan proses-proses yang bergantung waktu.

Pada AASHTO (1988) disebutkan bahwa bahaya terbesar dari perubahan kimia akan terjadi pada contoh tanah yang disimpan di dalam tabung baja yang tak dirawat. Pada ASTM D1587-83 tentang Praktek Standar untuk Pengambilan Contoh dengan Tabung Tipis (*Standard Practice for Thin-Walled Tube Sampling of Soils*) disebutkan bahwa pengaratan, baik yang berasal dari galvanisasi atau reaksi kimia, dapat merusak atau menghancurkan baik dinding tabung yang tipis maupun contoh itu sendiri. Beratnya kerus akan yang terjadi merupakan fungsi dari waktu, demikian pula dengan interaksi yang terjadi antara contoh tanah dan tabung. Tabung yang menyimpan contoh selama lebih dari 72 jam harus diberi olesan dari jenis yang dispesifikasikan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Sebagai alternatif, syaratkan untuk menggunakan tabung baja nirkarat (anti karat).

Dengan memperhitungkan kemungkinan akan perubahan kimia akibat interaksi antara contoh tanah dan tabungnya, atau akibat oksidasi jika contoh tersebut mempunyai akses ke udara luar karena penyegelan yang tidak sempurna, contoh yang dikirim ke laboratorium harus "segera" diuji tak lebih dari 15 hari setelah pengambilan contoh. Contoh tanah untuk cadangan pengujian selanjutnya harus dikeluarkan dari tabung, disegel dan diberi label, kemudian disimpan dengan penuh perhatian.

La Rochelle dkk., (1986) melaporkan bahwa ada bukti yang menunjukkan bahwa sedikit oksigen, sudah cukup untuk memulai suatu proses kimia yang dapat menyebabkan terjadinya penuaan pada lempung, dan bukti lain bahwa parafin, walaupun cukup tebal, tidak cukup memadai untuk melindungi contoh tanah; karena retakan halus yang terjadi pada parafin sewaktu mengeras dan

perubahan suhu akan meloloskan oksigen masuk pada permukaan lempung tersebut.

Pada tulisannya, La Rochelle dkk., menjelaskan prosedur penyegelan contoh yang digunakan pada Laboratorium Mekanika Tanah di Universitas Laval, di Quebec, Kanada. Prosedur tersebut telah dikembangkan bertahun-tahun dengan coba-coba. Selama percobaan, hasil berikut telah didapatkan:

- parafin terlalu rapuh untuk melindungi contoh dengan baik,
- penggunaan dari bahan campuran yang lebih plastis yang terdiri dari 50% parafin dan 50% vaselin akan memperpanjang waktu yang cukup lama sebelum ada tanda-tanda oksidasi telah terjadi,
- sebuah lapisan kedap udara yang lebih efisien dapat dibuat dengan membungkus contoh tanah dengan lembaran plastik biasa. Untuk mengatasi permasalahan gelembung udara yang terjebak antara lembaran plastik dan contoh, lembaran tersebut dicelupkan ke dalam campuran parafin yang hangat, kemudian lekatkan ke permukaan contoh dan urut permukaannya dengan tangan untuk membuang udara yang terjebak.

Dari pengamatan tersebut, teknik penyegelan berikut ini, kemudian dikembangkan.

Siapkan sebuah bahan campuran parafin dengan campuran 50% berat parafin dan 50% berat vaselin dan masukkan dalam penghangat pada suhu antara 60 dan 65°C; suhu dari parafin harus dipertahankan di bawah 70°C untuk mencegah terjadinya penguapan dari *volatile hydrocarbons* dan untuk mencegah me larnya lembaran plastik yang akan di celupkan ke dalam parafin.

Siapkan papan *plywood* berukuran 250 mm persegi dengan tebal 20 mm dan cat permukaan bagian atasnya dengan satu lapisan bahan campuran parafin, kemudian tempelkan selembar plastik, lalu cat kembali dengan satu lapisan parafin lagi pada permukaan atas dari lembaran plastik tersebut. Plastik dicelupkan ke dalam bahan campuran yang hangat, kemudian diletakkan pada papan, sambil diratakan permukaannya dengan telapak tangan untuk menghilangkan gelembung udara yang dapat terjebak di antara lembaran dan lapisan parafin di bawahnya.

Contoh tanah lempung dikeluarkan dari tabung dan iris dengan pemotong kawat baja dan letakkan potongan tersebut di atas papan dengan meluncurkannya pada permukaan papan tersebut sehingga dapat mencegah adanya udara yang terjebak pada alas potongan tersebut.

Permukaan yang terbuka dari contoh kemudian dicat dengan bahan campuran parafin dan kemudian dibungkus dengan dua lapis lembaran plastik yang terapat di antara lapisan campuran. Untuk memasang bungkus lembaran plastik, plastik tersebut terlebih dahulu dicelupkan ke dalam campuran, tempelkan pada permukaan contoh, dan ratakan dengan tangan kosong. Sebelum membungkus setiap lapisan, lakukan pengamatan visual untuk melihat kemungkinan adanya gelembung udara yang terperangkap di bawah lapisan sebelumnya, jika hal tersebut ditemui, maka tusuk gelembung udara tersebut kemudian ratakan dengan jari, lalu lubangnya ditutup kembali dengan parafin.

Penyegelan/penutupan contoh tanah dilakukan di lapangan; contoh dikeluarkan dengan segera dari tabung, dipotong menjadi irisan dengan tebal 125 mm atau lebih, bergantung pada ukuran benda uji yang diperlukan di laboratorium,

kemudian disegel. Walaupun tidak disebutkan oleh para penyelidik ini (La Rochelle dkk., seperti yang tidak sulit untuk melaksanakan teknik ini pada contoh yang dikeluarkan di laboratorium, walaupun hal ini dapat menyebabkan terjadinya oksidasi pada contoh selama interval waktu antara pengambilan dan pengeluaran contoh tanah.

Nilai Batas Cair dan Indeks Likuiditas akan secara signifikan dipengaruhi oleh efek penuaan yang terjadi; ada peningkatan yang cukup berarti dari nilai batas cair ini terhadap proses penuaan, demikian juga halnya dengan terjadinya penurunan pada indeks likuiditas. Parameter ini digunakan oleh La Rochelle dkk., untuk mengevaluasi keefektifan dari teknik penyegelan tersebut. Contoh yang diambil pada kedalaman yang berbeda dari dua lokasi diamati selama periode 3 tahun dan hasilnya menunjukkan bahwa tak ada kecenderungan dari nilai batas cair untuk meningkat atau indeks likuiditas untuk menurun. Oleh karenanya teknik penyegelan tersebut dianggap cukup memadai untuk digunakan dalam penyimpanan contoh selama periode 3 tahun; akhir-akhir ini sebuah metode penyegelan yang lebih maju telah diterapkan pada contoh tanah untuk disimpan pada periode yang lebih lama.

Sebagai kesimpulan, La Rochelle dkk., menyatakan bahwa gangguan terhadap contoh tanah (yang diindikasikan oleh efeknya terhadap batas cair dan indeks likuiditas) walaupun disimpan lama, dapat diabaikan jika contoh tanah tersebut disegel sebagaimana semestinya.

Untuk penyelidikan rutin, maksimum masa penyimpanan seperti yang harus diterapkan untuk periode beberapa bulan saja dan tidak untuk masa tahunan, dan prosedur penyegelan yang dijelaskan oleh La Rochelle dkk., (1986) dianggap terlalu rumit. Prosedur yang diusulkan oleh ISSMFE (1981) dilakukan dengan membungkus contoh dengan kertas perak kedap udara (selaput lengket) sebelum dicelupkan ke dalam parafin yang panas. Setelah label tersebut ditempel, contoh tanah tersebut kemudian dibungkus dengan paket polietilen (*polyethylene*) dan dimasukkan dalam kotak kedap udara atau ke dalam tangki air.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memutuskan material yang tidak diperlukan lagi untuk pengujian “segera” (seperti sisa contoh yang tertinggal di tabung setelah sebagian dikeluarkan atau contoh yang terdapat di dalam tabung yang belum dibuka ) apakah harus tetap tinggal di dalam tabung atau harus dikeluarkan dan dipotong dengan panjang yang diinginkan. Jika diputuskan bahwa contoh tanah tersebut harus ditinggalkan di dalam tabung, ia harus menetapkan prosedur untuk menyegel kembali tabung yang telah dibuka tersebut. Jika semua contoh harus dikeluarkan dan disimpan untuk penelitian kemudian, ia juga harus menetapkan prosedur penyegelan masing-masing contoh dan bagaimana cara menyimpannya.

### 5.2.2

## Penanganan Contoh Tanah dan Persiapan Benda Uji untuk Pengujian

### *Pengeluaran contoh*

Contoh tanah harus dikeluarkan dengan arah yang sama dengan arah pada saat diambil di lapangan, dengan satu gerakan ekstruder yang seragam. Pada umumnya akan sangat baik jika semua contoh yang dikeluarkan dari tabung sesegera mungkin dipakai setelah dibuka. Bila diputuskan untuk meninggalkan sejumlah contoh dalam tabung untuk keperluan penyelidikan mendatang, atau bila tidak semua contoh dalam tabung induk dapat segera diuji karena keterbatasan sumber daya yang ada, maka sebagaimana telah dibahas di depan, keputusan harus segera diambil untuk menentukan cara untuk menyegel dan menyimpan kembali contoh tersebut dengan sebaik-baiknya.

Untuk mengeluarkan contoh tanah dari tabung, prosedur berikut ini disarankan untuk digunakan (dengan asumsi bahwa tabung telah disegel dengan parafin atau campuran parafin):

- segel parafin pada ujung atas contoh dibuka,
- jarak antara ujung tabung dengan contoh tanah diukur dan dicatat pada Formulir Pemeriksaan Contoh (lihat Bab 2.6),
- parafin pada ujung bawah tabung (pada sebelah ujung pemotong) dilepas,
- ukur massa dari ‘tabung contoh dan tanah’ dan catat dalam Formulir Pemeriksaan Contoh ,
- contoh dipasang pada ekstruder vertikal dengan ujung atas terletak pada bagian paling atas; kemudian proses pengeluaran dapat dimulai,
- contoh tersebut kemudian dipotong sesuai dengan panjang yang dibutuhkan untuk pengujian atau dikeluarkan secara langsung ke dalam cincin pemotong untuk membentuk benda uji untuk uji triaksial, konsolidasi atau geser langsung,
- contoh dipotong dengan panjang tertentu sehingga dapat dipangkas menjadi benda uji triaksial dengan menggunakan mesin pemotong tanah (soil lathe); benda uji untuk konsolidasi dapat dipangkas lebih lanjut dengan ditekan ke dalam cincin konsolidasi,
- bila contoh dikeluarkan langsung ke dalam cincin pemotong, akan lebih baik bila memangkas contoh mendekati ukuran diameter benda uji dengan sebuah kawat sebelum dipangkas dengan cincin. Hal ini dapat mengurangi kerusakan yang dapat terjadi pada contoh,
- bila contoh sudah dipotong, berikan sebuah Nomor Benda Uji. Nomor, panjang dan jenis pengujian kemudian dicatat dalam Formulir Pengujian Contoh,
- bila terjadi penundaan pada waktu sedang mengeluarkan contoh, maka bagian yang terbuka dari contoh, yang masih terdapat di dalam tabung,

harus ditutup untuk mencegah terjadinya pengeringan dan sebuah kain yang lembab harus diselubungkan di atas penutup tersebut,

- setelah contoh dikeluarkan seluruhnya, parafin pada ujung bawah contoh dikumpulkan. Tebal rata-rata dari parafin diukur dan ditimbang. Nilai ini dicatat dalam Formulir Pengujian Contoh,
- tabung contoh kemudian dibersihkan dan ditimbang dan hasilnya dicatat dalam Formulir Pengujian Contoh. Pada tahap ini nilai kepadatan curah dari contoh dapat dihitung,
- tabung contoh kemudian diperiksa untuk memastikan apakah kerusakan terutama bagian ujung pemotongnya, kemudian contoh diperbaiki bila perlu, diolesi oli secukupnya dan kemudian disimpan.

Segera setelah dikeluarkan dari tabung, kondisi dari contoh seperti tipe tanah, adanya lapisan tipis pasir, material organik atau kerang harus dicatat ke dalam Formulir Pemeriksaan Contoh.

### ***Persiapan benda uji***

Secara umum, praktek laboratorium yang baik mensyaratkan tindakan pencegahan berikut untuk dilakukan:

- penanganan dan terbukanya contoh tak terganggu ke udara harus dijaga seminimum mungkin,
- jika memungkinkan, contoh tanah tak terganggu harus disiapkan di dalam ruangan dengan tingkat kelembaban yang tinggi untuk memperkecil terjadinya perubahan kadar air,
- contoh tanah tidak boleh dipegang atau diusap dengan tangan kosong, karena dapat mengurangi kadar air dari contoh tersebut,
- selembat kertas lilin dapat digunakan untuk memperkecil kehilangan kadar air selama penanganan dan persiapan contoh,
- contoh tanah tersebut harus diletakkan bertumpu pada arah panjangnya bila sedang dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya

Persiapan benda uji untuk pengujian triaksial, geser langsung dan konsolidasi membutuhkan kesabaran dan ketrampilan serta harus mengikuti prosedur persiapan benda uji yang sudah dibakukan untuk masing-masing tipe pengujian.

Butir 8 dari *BS 1377 : Part 1 : 1990* menjelaskan persiapan benda uji dari contoh tanah tak terganggu yang diterima dari lapangan dimana prosedur tersebut digunakan untuk lebih dari satu macam jenis pengujian. Prosedur tersebut menjelaskan tentang:

- benda uji berbentuk silinder yang diameternya sama dengan diameter tabung contoh,
- benda uji berbentuk silinder atau benda-benda uji dengan diameter yang lebih kecil dari diameter tabung contoh,

- benda uji berbentuk silinder untuk contoh blok,
- benda uji berbentuk cakram atau persegi dari contoh tanah dari tabung contoh,
- potongan cakram atau persegi dari sebuah contoh blok.

Untuk pengujian tertentu, berlaku metode persiapan benda uji yang disebutkan dalam prosedur tersebut. Butir 8 dilampirkan dalam Lampiran C untuk memberikan panduan dalam melakukan persiapan benda uji dan untuk menunjukkan jenis peralatan yang dibutuhkan.

Standar Industri Jepang (*Japanese Industrial Standard, JIS*) A1217-1960 menjelaskan Metode Pengujian Konsolidasi. Butir 3 dari Standar tersebut membahas masalah persiapan contoh dan dikemukakan kembali berikut ini :

3. Persiapan Benda Uji

Benda uji harus disiapkan di dalam ruangan yang lembab jika memungkinkan, supaya tidak menyebabkan terjadinya perubahan terhadap kadar air. Disarankan agar contoh tersebut ditangani dengan menggunakan sarung tangan karet.

3.1 Benda Uji Tak Terganggu

3.1.1 Contoh yang diambil dari sebuah alat pengambil contoh harus dipotong dengan ukuran diameter maupun tinggi sekitar 10 mm lebih besar dari diameter dalam dan tinggi cincin ujinya. Kemudian contoh tersebut harus ditempatkan pada sebuah pemotong dan dipangkas menjadi berbentuk cakram/piringan bundar yang memiliki diameter 2 hingga 3 mm lebih besar dari diameter dalam dari cincin uji. Potongan tanah dapat digunakan untuk mendapatkan nilai kadar air,  $w_c$  (%) dan berat jenis dari partikel tanah,  $G_s$ .

3.1.2 Berat,  $W_r$  (gr), tinggi,  $h_c$ , dan diameter dalam,  $D$  dari cincin harus diukur.

3.1.3 Benda uji yang telah dipangkas tersebut kemudian diletakkan diatas cincin konsolidometer dan pada permukaan sisinya harus dipangkas dengan pisau kawat atau spatula sampai benda uji tersebut dapat secara perlahan dimasukkan ke dalam cincin dengan posisi yang pas. Dan harus diperhatikan bahwa tidak boleh terdapat rongga antara cincin dan benda uji tersebut.

3.1.4 Setelah benda uji dimasukkan seluruhnya ke dalam cincin, bagian atas dan bawah dari benda uji tersebut harus dipangkas rata dengan cincin tersebut dengan menggunakan pisau kawat atau mistar perata.

3.1.5 Berat dari benda uji yang telah disiapkan bersama dengan cincin tersebut,  $W_t$  (gr) harus ditimbang. Jika digunakan cincin mengambang, kerahnya dipasang setelah dilakukan penimbangan berat.

Peralatan dan perlengkapan yang digunakan dalam persiapan benda uji diberikan dan mengacu ke dalam *JIS A1216-1977* (Metode Uji Tekan Bebas untuk Tanah) dimana gambar peralatan yang digunakan untuk mempersiapkan contoh untuk kedua jenis pengujian juga diberikan.

Standar Jepang tersebut dimaksudkan sebagai contoh prosedur yang disyaratkan dalam sebuah metode uji standar; prosedur yang sebenarnya digunakan di dalam sebuah laboratorium pengujian harus memenuhi atau sesuai dengan detail metode pengujian yang disyaratkan oleh seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk.

Persiapan benda uji untuk pengujian gambut dan tanah sangat lunak harus diberi perhatian khusus. Dengan memperhatikan kompresibilitas yang besar dari gambut, McGown dan Jarrett (1997b) mengemukakan bahwa *sudah umum dalam suatu pengujian konsolidasi untuk menggunakan benda uji gambut yang lebih tebal dari standar*. Hal ini tentu akan mengurangi perbandingan diameter terhadap tinggi dan konsekuensinya akan meningkatkan efek dari gesekan samping, oleh karenanya dianggap lebih baik jika sebuah benda uji yang lebih representatif dapat diperoleh dimana kandungan seratnya tidak akan secara radikal mempengaruhi pemampatan sesungguhnya dari gambut. Para peneliti ini juga mengamati bahwa akan timbul masalah pada saat melakukan pemangkasan gambut berserat, baik untuk menyesuaikannya dengan cincin konsolidasi maupun untuk pengujian triaksial atau pengujian kuat geser lainnya; oleh karena itu akan lebih baik jika laboratorium memiliki cincin atau sel triaksial yang menggunakan benda uji yang memiliki diameter sama dengan diameter tabung contoh. Pada standar ASTM untuk Metode Pengujian untuk Uji Sifat Konsolidasi Satu Dimensi dari Tanah dinyatakan bahwa ‘tanah berserat seperti gambut, dan tanah yang dapat dengan mudah terganggu akibat pemangkasan/perampingan, dapat dipindahkan langsung dari tabung contoh ke dalam cincin, dimana cincin yang digunakan harus memiliki ukuran diameter yang sama dengan diameter tabung contoh’. Contoh yang sulit untuk dipangkas juga akan cukup sulit untuk diambil secara baik di lapangan, sebab tabung contoh juga akan menemui kesulitan yang sama untuk memotong contoh berserat tersebut. Oleh karenanya, perhatian khusus harus diberikan pada rasio pemulihan dalam menaksir/menilai pemampatan gambut yang telah terjadi selama proses pengambilan sampel (McGown dan Jarrett, 1997b).

Landva dkk., (1993) menyatakan bahwa pada kasus gambut berserat dengan sedikit atau tanpa kadar mineral dan dengan derajat pembusukan yang rendah, sebagian besar pemangkasan dapat dilakukan dengan sebuah pisau elektrik standar. Meskipun pemangkasan samping masih merupakan hal yang agak sukar, khususnya untuk contoh triaksial dengan rasio tinggi terhadap diameter bernilai 2. Untuk alasan ini, tabung contoh dengan ukuran diameter 100 mm diuji pada peralatan yang didesain khusus untuk benda uji dengan diameter 100 mm sehingga hanya pemangkasan pada ujungnya saja yang diperlukan. Peralatan khusus yang tidak terlalu perlu untuk gambut berserat dengan derajat pembusukan yang rendah, untuk gambut yang tingkat pembusukannya tinggi dan untuk tanah organik dipandang sebagai “sebuah persyaratan mutlak, karena jenis tanah tersebut bisa sangat lunak sehingga sebuah contoh bahkan tidak cukup kuat untuk mendukung beratnya sendiri”. Peralatan yang digunakan oleh Landva dkk., dikembangkan sebagai bagian dari proyek penelitian di Universitas New Brunswick, Kanada dan dirakit sendiri.

Setiap peralatan khusus yang dibutuhkan untuk melaksanakan penyelidikan lapangan dalam kaitannya dengan jenis tanah yang seperti ini akan dihadapi, harus diidentifikasi pada tahap awal dari perencanaan penyelidikan dan hal ini harus diperhitungkan ketika melakukan evaluasi terhadap kemampuan dan kapasitas dari institusi yang akan melaksanakan pekerjaan penyelidikan tersebut.



### 5.3

## EVALUASI TERHADAP TINGKAT GANGGUAN PADA CONTOH TANAH

Metode untuk mengevaluasi kualitas contoh tanah dengan pengamatan visual di lapangan dan dengan data dari hasil pengujian di laboratorium telah dibahas oleh ISSMFE (1981). Kutipan dari publikasi ISSMFE tersebut diberikan berikut ini :

Pengamatan visual terhadap contoh tanah dapat memberikan gambaran terhadap tingkat kerusakan atau gangguan pada contoh tanah sebagai berikut:

- jika pada ujung contoh tanah yang ada dalam tabung terlihat luarbiasa lunaknya seperti lumpur, maka seluruh contoh mungkin telah terganggu ,
- jika ujung tabung bengkok atau rusak, contoh mungkin telah terganggu,
- angka/rasio pemulihan kurang dari 95% menunjukkan adanya prosedur dan pengukuran yang tidak akurat selama pengambilan contoh atau adanya kehilangan contoh dan dapat dianggap sebagai sebuah tanda kemungkinan adanya kerusakan atau gangguan.

Gangguan pada contoh tanah akan mempengaruhi hubungan tegangan-regangan, kuat geser, konsolidasi dan parameter lainnya dari material yang diukur dengan pengujian laboratorium; oleh karenanya evaluasi terhadap hasil pengujian tersebut akan dapat memberikan sebuah penilaian terhadap kualitas dari contoh tanah.

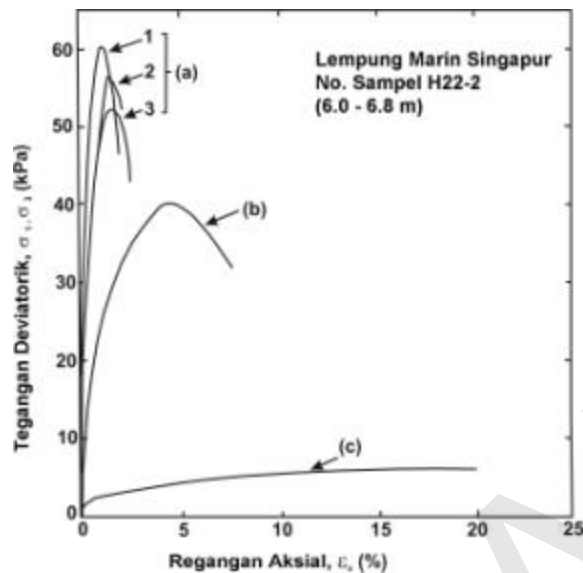
#### 5.3.1

### Tegangan-Regangan Tak Terdrainase dan Prilaku Kuat Geser

#### *Kurva tegangan-regangan*

Kurva tegangan-regangan yang diperoleh dari uji triaksial tak terdrainase pada Gambar 5-1, mengindikasikan kualitas contoh yang diuji. Untuk contoh tanah dengan kualitas sangat baik pada kurva (a), kurva tegangan-regangan linier sampai mencapai sekitar puncak tegangan dan regangan yang terjadi pada saat runtuh cukup kecil. Untuk contoh tanah yang sedikit terganggu pada kurva (b), kurvanya berbentuk bundar dan regangan pada saat runtuh lebih besar dibanding dengan contoh dengan kualitas yang sangat baik; dan sebuah contoh tanah remasan seperti pada kurva (c), tidak mempunyai puncak tegangan yang jelas.





**Gambar 5-1** Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Tegangan-Regangan

#### *Regangan pada saat runtuh*

Regangan pada saat runtuh dari tanah lunak kohesif umumnya akan bertambah dengan bertambahnya gangguan yang terjadi dan hubungan ini merupakan sebuah indikator yang dapat digunakan untuk menilai kualitas suatu contoh tanah. Tetapi, penilaian kualitas berdasarkan parameter ini harus memperhitungkan jenis pengujian yang dilakukan, tekanan keliling yang diberikan serta jenis tanahnya. Regangan pada saat runtuh yang terjadi untuk jenis tanah yang berbeda dalam sebuah uji tekan tak terdrainase ditunjukkan pada Tabel 5-1.

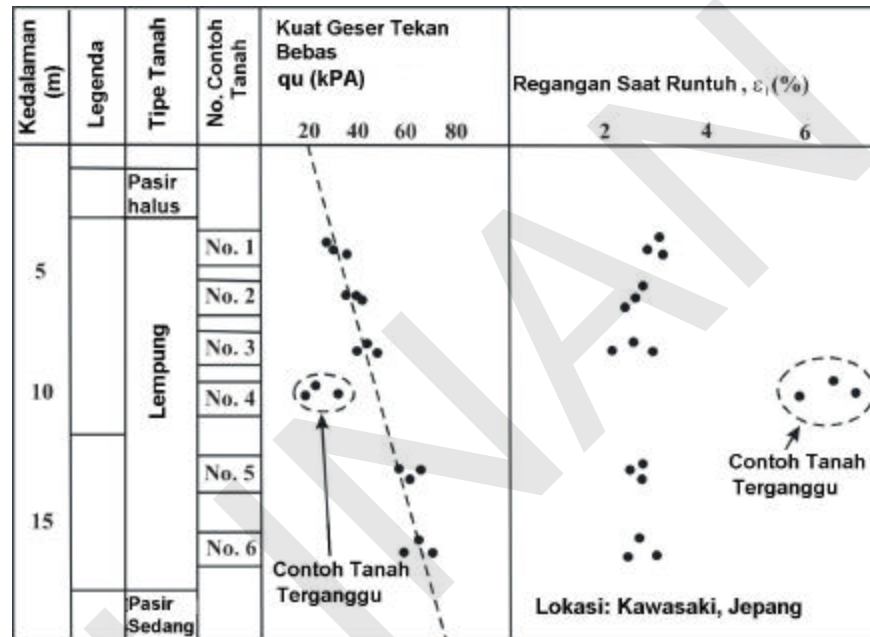
**Tabel 5-1** Regangan saat Runtuh dari Contoh Tanah Tak Terganggu dalam Uji Kompresi Tak Terdrainase

Jenis Tanah	Regangan saat Runtuh (%)
Lempung Kanada	1
Lempung Yugoslavia	1.5
Lempung Marina Jepang	6
Lempung Perancis	3-8

Pengamatan pada tanah lunak dari lokasi karakterisasi Bandung dan Jakarta menunjukkan bahwa kisaran regangan runtuh untuk tanah tersebut dalam uji triaksial CU, UU dan uji geser langsung umumnya sekitar 6%. Untuk material gambut, regangan umumnya lebih tinggi dan tak ada puncak kuat geser yang pasti yang dapat ditemukan.

### Distribusi dan deviasi dari kuat geser tak terdrainase

Pada umumnya, kuat geser tak terdrainase dari lempung yang terkonsolidasi normal akan meningkat menurut kedalaman, dan hubungan antara kuat geser dengan kedalaman akan linier untuk lempung yang terkonsolidasi normal untuk lapisan tanah yang seragam. Gambar 5.2 menunjukkan sebuah contoh penyimpangan terhadap kelinieran tersebut, yang menunjukkan bahwa contoh No. 4 merupakan contoh tanah yang sangat terganggu.



**Gambar 5-2** Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Nilai Kuat Geser Tak Terdrainase

### Modulus deformasi tak terdrainase

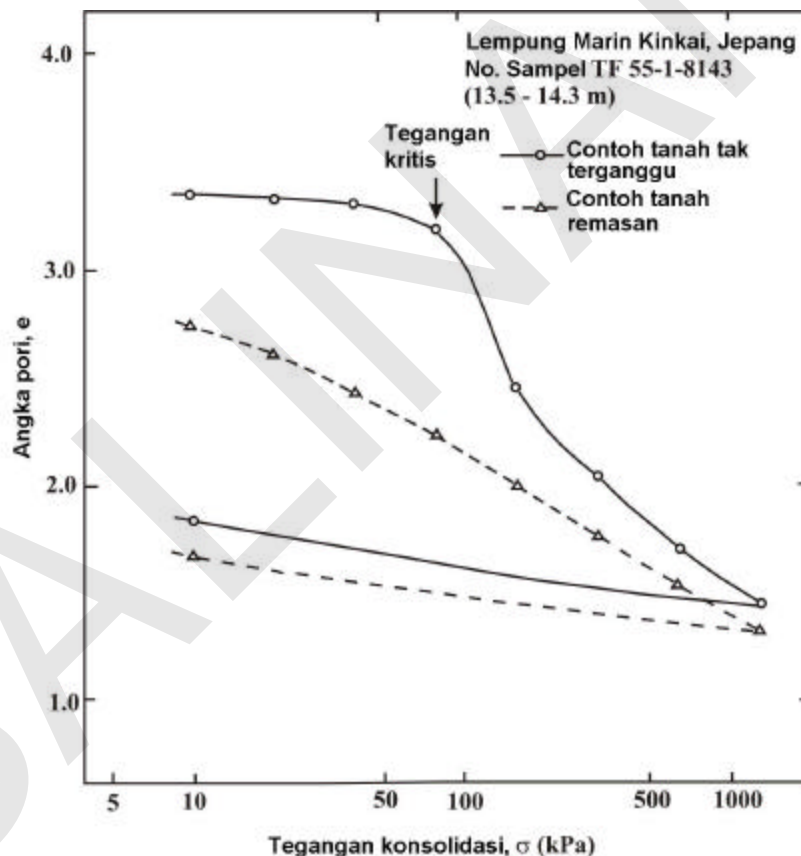
Nilai modulus deformasi tak terdrainase  $E_{50}$ , yang merupakan modulus sekan dari kurva tegangan-regangan pada setengah dari nilai tegangan maksimum dari suatu uji tak terdrainase, akan menurun seiring dengan meningkatnya gangguan yang terjadi pada contoh tanah. Sebagai tambahan, kecepatan perubahan dari  $E_{50}$  akibat dari gangguan contoh tanah akan lebih besar dibanding  $E_{50}$  dari kuat geser dan regangan saat runtuh. Oleh karenanya, modulus deformasi merupakan indeks yang lebih sensitif terhadap tingkat gangguan contoh tanah dibanding dengan indeks kuat geser atau regangan saat runtuh.

### 5.3.2

## Kurva Konsolidasi Satu Dimensi

### *Kurva angka pori– tekanan konsolidasi*

Gambar 5-3 membandingkan kurva tanah dari angka pori – tekanan konsolidasi, dalam skala logaritma, untuk contoh tak terganggu dan contoh tanah remasan. Angka pori dari contoh tanah tak terganggu tidak banyak berubah sebelum mencapai tekanan kritis (yaitu tekanan prakonsolidasi atau tekanan akhir maksimum), kemudian setelah itu menurun relatif tajam. Pada sisi lain, angka pori dari contoh tanah terganggu tidak mengalami penurunan secara tajam dan angka porinya akan semakin kecil pada setiap titik. Selanjutnya, pada contoh tanah terganggu, kemiringan dari bagian yang terkompresi balik dari kurva tersebut,  $C_r$ , terlalu tinggi sementara bagian asli yang terkompresi,  $C_c$ , terlalu rendah.



**Gambar 5-3** Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Angka Pori-Tekanan Konsolidasi

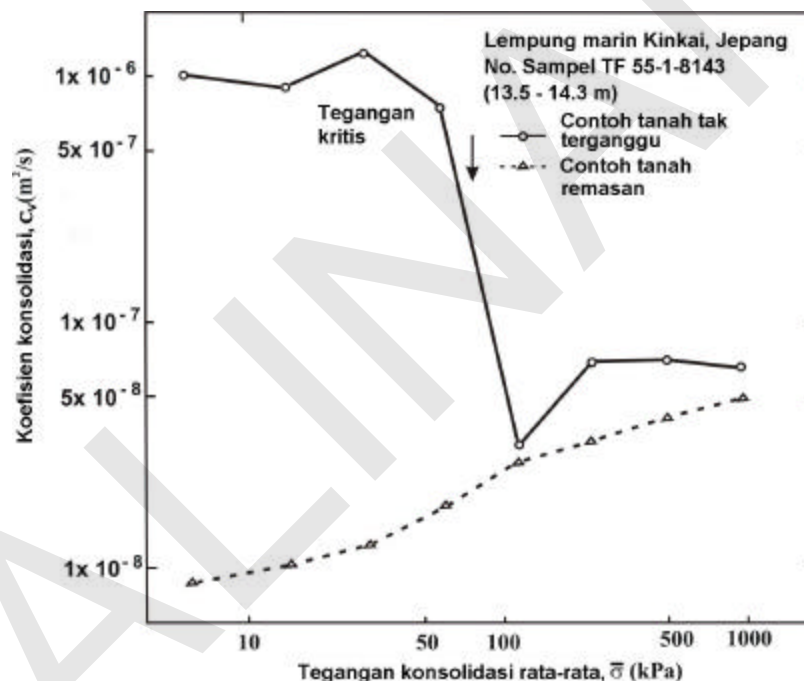
### *Tekanan Kritis*

Tekanan kritis, yang didapat dari pengujian konsolidasi satu dimensi, akan menurun seiring dengan peningkatan derajat gangguan/kerusakan yang terjadi

pada contoh tanah. Pada endapan lempung dimana tegangan dan kondisi lingkungannya dapat diperkirakan berdasarkan informasi geologi dan/ atau berdasarkan pengujian langsung di lapangan, nilai tekanan kritis merupakan indikator yang baik untuk menilai kualitas suatu contoh tanah.

#### **Koefisien konsolidasi– tekanan konsolidasi**

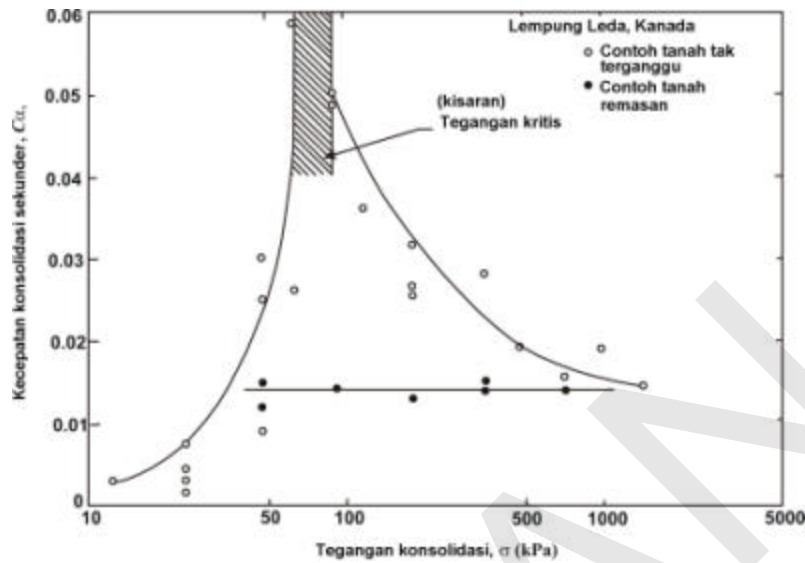
Contoh dari kurva ini, dalam skala log – log, untuk contoh tanah tak terganggu dan contoh tanah remasan diberikan pada Gambar 5-4. Koefisien konsolidasi dari sebuah contoh tanah tak terganggu memiliki nilai lebih tinggi pada tekanan konsolidasi yang lebih rendah, dan akan menurun secara cepat di sekitar tekanan kritis. Untuk contoh tanah yang sangat terganggu, koefisien konsolidasinya relatif rendah di bawah seluruh tekanan dan akan meningkat secara linier terhadap tekanan konsolidasi.



**Gambar 5-4** Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Koefisien Konsolidasi Sekunder – Tekanan Konsolidasi

#### **Kurva kecepatan konsolidasi sekunder– tekanan konsolidasi**

Uji konsolidasi satu dimensi yang dilakukan pada contoh tanah tak terganggu dengan kualitas yang tinggi menunjukkan bahwa kecepatan konsolidasi sekunder,  $C_\alpha$  akan meningkat secara tajam ketika tekanan konsolidasinya ( $\sigma$ ) mendekati tekanan kritis dan akan menurun ketika tekanan kritisnya meningkat. Sebuah contoh dari  $C_\alpha$  versus  $\sigma$  yang diukur dalam pengujian pada contoh tanah tak terganggu dan contoh dari dari lempung yang sama, ditunjukkan pada Gambar 5.5. Pada gambar tersebut,  $C_\alpha$  untuk contoh tanah tak terganggu tidak banyak mengalami perubahan dalam berbagai variasi tekanan konsolidasi.



**Gambar 5-5** Evaluasi Kualitas Contoh Tanah dengan Menggunakan Kurva Kecepatan Konsolidasi Sekunder-Tekanan Konsolidasi

### 5.3.3 Tegangan Efektif Residual

Ketika contoh tanah dikeluarkan dari dalam tanah, contoh tanah tersebut akan terbebaskan dari tegangan setempat dan tegangan total akan menjadi nol. Sebuah contoh tanah yang “sempurna” didefinisikan sebagai sebuah contoh tanah yang telah terbebaskan dari semua tegangan tetapi belum mengalami kerusakan atau gangguan secara mekanik (yaitu selama pengeboran, pengambilan contoh dan pemangkasan/pemotongan). Walaupun demikian ketika tegangan total menjadi nol, tegangan efektif residual (sebuah tegangan internal) tidak serta merta menjadi nol tetapi akan menjaga kesetimbangan dengan tegangan air pori negatif. Gangguan mekanik yang merupakan gangguan tambahan terhadap gangguan yang disebabkan oleh pembebasan tegangan dapat dievaluasi dari perbedaan yang antara tegangan air pori dalam contoh tanah yang “sempurna” dengan yang ada di dalam contoh tanah yang sedang dievaluasi.

Tegangan efektif residual dapat diukur di dalam sel triaksial dimana tekanan kelilingnya dinaikkan secara bertahap pada kondisi tak terdrainase dan tekanan air porinya diukur. Tegangan efektif residual pada contoh tanah yang “sempurna” akan lebih tinggi dibanding dengan sampel yang telah terganggu secara mekanik.

### 5.3.4 Penilaian Kualitas Contoh Tanah

Laboratorium harus meninjau kembali kualitas contoh tanah mengikuti prosedur yang dijelaskan di atas dan merevisi klasifikasi kualitas contoh tanah, sesuai dengan yang dikemukakan pada Panduan Geoteknik 2.

## 6

## Struktur dan Fabrik Tanah

### 6.1

### DEFINISI

Istilah pabrik biasanya dipakai terhadap susunan fisik dari butir tanah dan kelompok butir, termasuk jarak dan ruang/rongga atau distribusi ukuran pori (Brenner dkk., 1981). Biasanya istilah pabrik ini dibedakan menjadi dua tingkatan, yaitu:

- *makropabrik*, yang merupakan tingkatan dari pabrik tanah yang dapat diamati dengan mata telanjang atau dengan lensa sederhana,
- *mikropabrik*, yang merupakan tingkatan dari pabrik tanah yang untuk mengamatinya paling tidak dibutuhkan sebuah mikroskop polaroid.

Brand dan Brenner menyatakan bahwa istilah *struktur* seharusnya digunakan lebih luas sehingga mencakup efek gabungan dari pabrik, komposisi dan gaya antar partikel, tetapi harus diingat bahwa istilah struktur dan pabrik sering digunakan secara bertukar tempat.

Menurut Krebs dan Walker (1971), *istilah struktur tanah, dalam pengertian yang luas, meliputi*: “susunan partikel tanah dalam sebuah massa tanah serta faktor yang mempengaruhi susunannya, termasuk komposisi tanah, karakteristik mineralogi dan fisik dari partikel padat, sifat dasar dan komposisi dari air tanah serta interaksi kompleks antara partikel dan air. Jika mengacu pada istilah agregasi dari partikel tanah, maka juga mencakup orientasi dan ikatan dari partikel dengan agregat, serta prilakunya sebagai massa tanah”.

Lambe dan Whitman (1979) mengamati bahwa perilaku keteknikan dari sebuah elemen tanah akan sangat bergantung pada struktur yang ada, yang diistilahkan sebagai “orientasi” dan distribusi dari partikel di dalam sebuah massa tanah yang juga disebut sebagai pabrik dan arsitektur dan gaya antar partikel tanah”. Dengan mengacu pada partikel kecil berbentuk pipih, mereka menganggap bahwa dua perbedaan ekstrim dari struktur tanah diwakili oleh *struktur terflokulasi* dan sebuah struktur terdispersi. Pada struktur terflokulasi, partikel tanah berada di sisi muka dan saling menarik; sedangkan struktur terdispersi memiliki partikel yang paralel, yang cenderung untuk saling menolak. Antara kedua perbedaan besar ini terdapat tahap antara dengan jumlah tak terhingga.

Pada umumnya sebuah elemen dari tanah terflokulasi memiliki kuat geser yang lebih tinggi, kompresibilitas yang lebih rendah dan permeabilitas yang lebih tinggi dibanding dengan elemen tanah terdispersi dengan angka pori yang sama. Kuat geser yang lebih tinggi dan kompresibilitas yang lebih rendah pada

keadaan terflokusasi disebabkan oleh tarik menarik antar partikel dan kesulitan yang lebih besar untuk menggeser partikel ketika berada dalam keadaan susunan yang tak beraturan; sedangkan permeabilitas yang lebih tinggi disebabkan oleh terdapatnya saluran yang lebih besar untuk mengalirkan air.

Brenner dan Brenner (1981) menyatakan bahwa walaupun mikrofabrik lebih sering mendapat perhatian, namun makrofabrik dapat mempunyai pengaruh yang dominan dalam banyak masalah keteknikan. Dalam kasus lempung lunak, ciri-ciri dari makrofabrik adalah:

- perlapisan horisontal,
- sisipan lanau atau pasir,
- lubang-lubang akar,
- retakan sineresis,
- bidang runtuh lama,
- kandungan organik.

## 6.2

## PEMERIAAN DAN IDENTIFIKASI TANAH

ASTM D 2488-93 menjelaskan sebuah praktek standar yang dapat digunakan untuk memerikan dan mengidentifikasi tanah, tidak hanya di lapangan tapi juga dapat digunakan di kantor, di laboratorium atau dimana saja contoh tanah diperiksa dan dilakukan pemerian. Sebuah ceklis yang digunakan untuk *memerikan tanah* diberikan pada Tabel 13 dan memuat 23 hal; dimana beberapa contoh tanah dari hal ini dibahas di bawah ini.

*Warna.* Warna merupakan sifat yang penting dalam mengidentifikasi tanah organik, dan pada lokasi yang sama, akan memudahkan dalam mengidentifikasikan material dari asal geologi yang sama. Jika contoh tanah tersebut mengandung lapisan atau potongan dengan warna yang bervariasi, hal ini harus dicatat dan semua warna yang mewakili dijelaskan. Warna tersebut harus dilakukan pemeriaannya dalam kondisi contoh tanah yang basah. Jika warna mewakili kondisi kering, hal ini harus dicatat dalam laporan.

*Aroma.* Aroma harus dijelaskan bila material yang ada merupakan material organik atau tidak biasa. Tanah yang mengandung unsur organik dalam jumlah yang signifikan biasanya akan memiliki aroma khusus sebagai akibat pembusukan tumbuh-tumbuhan. Hal ini akan jelas terlihat pada contoh tanah yang masih baru/segar, tetapi jika contoh tanah tersebut telah mengering, aromanya dapat dimunculkan kembali dengan memanaskan contoh tanah yang dilembabkan.

*Kondisi Kelembaban.* Hal ini dipemerikan dengan istilah kering, lembab atau basah dengan mengacu pada kriteria-kriteria berikut.

kering : tak ada kandungan air, berdebu, dan terasa kering jika dipegang,  
 lembab : lembab tapi tak tampak adanya air,  
 basah : tampak adanya air bebas, biasanya tanah berada dibawah muka air.

*Konsistensi* . Konsistensi dari contoh yang utuh dari tanah berbutir halus Pemeriksaan dengan istilah sangat lunak, lunak, agak keras, keras atau sangat keras berdasarkan kriteria berikut ini.

<u>Pemeriksaan</u>	<u>Kriteria</u>
Sangat lunak	Ibu jari akan menembus tanah lebih dari 25 mm
Lunak	Ibu jari akan menembus tanah sekitar 25 mm
Teguh	Ibu jari akan masuk ke tanah sekitar 6 mm
Keras	Ibu jari tak akan menekuk tanah tapi akan dengan mudah menekuk dengan kuku ibu jari
Sangat keras	Kuku ibu jari tak akan menekuk tanah

*Struktur* . Struktur tanah yang lengkap dipemeriksaan berdasarkan kriteria di bawah ini:

<u>Pemeriksaan</u>	<u>Kriteria</u>
Bertingkat-tingkat ( <i>stratified</i> )	Lapisan selang-seling ( <i>alternating layers</i> ) dengan warna dan material yang bervariasi dengan tebal minimal 6 mm: perhatikan ketebalannya
Berlapis-lapis tipis ( <i>laminated</i> )	Lapisan selang-seling dengan warna dan material yang bervariasi dengan tebal kurang dari 6mm: perhatikan ketebalannya
Bercelah	Retakan sepanjang bidang retak tertentu, sedikit tahanan terhadap keretakan lanjutan
Bermuka licin ( <i>slickensided</i> )	Bidang retakan yang licin atau mengkilat, kadang dengan goresan
Berblok	Tanah kohesif yang dapat dipecah menjadi gumpalan kecil bersudut, tak dapat dipecah lagi
Berlensa	Inklusi dari kantung-kantung kecil dari tanah yang berbeda, seperti lensa-lensa kecil dari pasir yang tersebar sepanjang massa lempung: perhatikan ketebalannya
Homogen	Warna dan rupa sama seluruhnya

*Keterangan Tambahan* . Terdapatnya akar-akaran atau lubang akar, kesulitan dalam pengeboran atau pembuatan lubang keruntuhan, galian parit atau lubang, adanya mika, gipsium, dan lain-lain harus dicatat.



*Identifikasi tanah*, prosedur untuk mengidentifikasi tanah berbutir halus dan tanah berbutir kasar dijelaskan masing-masing pada Bab 14 dan 15, pada standar tersebut.

Tanah berbutir halus diidentifikasi berdasarkan kuat geser kering, dilatansi, kekerasan dan plastisitas; Dalam proses identifikasi, sebuah pemisahan harus dilakukan untuk tanah berbutir halus inorganik dengan tanah berbutir halus organik.

Tanah diidentifikasi sebagai tanah organik (OL/OH dalam sistem USCS) jika mengandung sejumlah partikel organik yang dapat mempengaruhi sifat-sifat tanah. Untuk membantu identifikasi dari tanah ini, karakteristik berikut harus diperhatikan:

- tanah organik biasanya mempunyai warna coklat gelap hingga hitam dan memiliki aroma organik,
- sering kali tanah organik akan mengalami perubahan warna, misalnya dari hitam menjadi coklat, bila bersentuhan terbuka terhadap udara,
- beberapa tanah organik akan berubah warna menjadi lebih muda secara signifikan bila kering udara,
- tanah organik umumnya tidak memiliki kekuatan (*toughness*) yang tinggi atau plastisitas; galur dari uji tingkat kekuatan dari tanah ini akan bersifat seperti sepon (*spongy*).

Tanah inorganik diidentifikasi berdasarkan sifat-sifatnya, dan diberikan Lambang/Symbol Kelompok dengan mengacu kepada sistem yang digunakan dalam USCS sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6-1 berikut:

**Tabel 6-1** Identifikasi Tanah Inorganik Berbutir Halus berdasarkan Manual Pengujian (ASTM D 2488-93)

Simbol Tanah	Kuat Kering	Dilatansi	Kekerasan ( <i>Toughness</i> )
ML	Nol sampai dengan rendah	Lambat sampai dengan cepat	Rendah atau galur ( <i>thread</i> ) tidak dapat dibentuk
CL	Sedang sampai dengan tinggi	Nol sampai dengan lambat	Sedang
MH	Rendah sampai dengan sedang	Nol sampai dengan lambat	Rendah sampai dengan sedang
CH	Tinggi sampai dengan sangat tinggi	Tidak ada	Tinggi

Pemeriksaan dan identifikasi dari tanah berbutir halus berdasarkan pada penjelasan di atas dapat diterapkan pada contoh tanah tak terganggu (yang didapat berdasarkan, misalnya, ASTM D 1587-83), yang diambil pada kedalaman di antara lokasi pengambilan contoh dengan contoh tanah yang diambil ketika melakukan Uji Penetrasi Standar (ASTM D 1586-84, diperbarui tahun 1992). Dalam praktek di Indonesia umumnya dilakukan pengintian untuk identifikasi di antara lokasi pengambilan contoh tanah tetapi karena

pemeriksaan tersebut jarang diinspeksi secara detil, ahli pemboran menjadi tidak tahu seberapa besar kebutuhan pengintian tersebut harus dilakukan. Karena contoh inti yang relatif murah merupakan sumber informasi yang berharga, maka kebutuhan untuk melakukan pengintian seharusnya ditekankan oleh seorang ahli geoteknik. Dan karena evaluasinya bersifat subyektif dan membutuhkan suatu pemilihan keputusan, pengintian ini harus ditugaskan kepada personil yang berpengalaman; dan tidak boleh ditugaskan kepada sarjana teknik yang masih junior atau geolog atau kepada seorang teknisi.

Penampangan fabrik yang detil umumnya dilakukan di laboratorium pada contoh tanah tak terganggu. Prosedur yang digunakan selama Tahap 1 dari *Proyek Panduan Indon-GMC* pada Pusat Litbang Prasarana Transportasi Bandung, dalam menganalisis *makrofabrik* dijelaskan pada Bab 6.3 berikut:

## 6.3 PROSEDUR PENAMPANGAN DAN ANALISIS FABRIK

Studi makrofabrik dari tanah telah dilakukan oleh McGown dan Jarrett (1997a). Mereka menyatakan bahwa sebagian besar endapan aluvial terbentuk selama periode dimana terjadi perubahan musim dan variasi lain selama kondisi pengendapan, dan partikel tanah yang membentuk endapan ini umumnya ditemukan dalam unit yang dapat dibedakan dengan jelas tersendiri susunannya; ketebalan yang berbeda, gradasi partikel, kepadatan dan mungkin saja mineralogi. Untuk mengkuantifikasi unit-unit ini, *suatu permukaan untuk pemeriksaan harus terbuka (exposed)*, baik pada contoh blok yang digali ataupun pada contoh inti. Sebuah metode untuk melakukan pemeriksaan permukaan adalah dengan melakukan pemotongan parsial secara hati-hati dengan membelah dan pengeringan udara.

### 6.3.1 Identifikasi dan Klasifikasi dari Fitur Fabrik

Metode investigasi yang diusulkan oleh McGown dan Jarrett dan telah digunakan di Pusat Litbang Prasarana Transportasi adalah dengan menggambarkan fitur tersebut berdasarkan:

- (i) sifat dasarnya,
- (ii) bentuknya, dan
- (iii) susunan ruang (*spatial*)-nya.

#### *Sifat dasar dari fitur*

Sifat dasar dari fitur dikarakterisasikan dengan pemerian fisik dari fitur dan klasifikasi dari partikel tanah yang membentuk fitur tersebut. Istilah pemerian yang diusulkan tersebut diberikan pada Tabel 6-2.

**Tabel 6-2** Pemerian yang Diusulkan untuk Pengkarakterisasian Sifat-sifat Dasar dari Fitur pada Endapan Berlapis

Sifat Dasar dari Fitur		Ketebalan (mm)	Pemeriaan
Fitur unit tunggal	Pembelah ( <i>Parting</i> )	Kurang dari 0.1	Sebuah unit lapisan sangat tipis dimana tanah cenderung membelah
	Lapisan debu ( <i>Dusting</i> )	0.1 → 0.5	Sebuah unit material yang membentuk sebuah permukaan pemisah yang tipis
	Lamina	0.5 → 5.0	Sebuah unit tunggal dari material dengan ketebalan terbatas
Fitur unit tunggal atau multi-unit	Lapisan tipis	→ 50.0	Material yang membentuk sebuah unit tunggal atau kombinasi unit dari kumpulan partikel yang secara signifikan berbeda dengan lapisan di atas dan di bawahnya.
	Lapisan normal	50.0 → 500.0	
	Lapisan tebal	Lebih dari 500.0	
Fitur multi unit	Lapisan ( <i>stratum</i> )	-	Sebuah kombinasi unit kumpulan partikel yang berbeda dari lapisan diatas dan dibawahnya
	<i>Varve</i>	-	Pelapisan yang teratur atau perubahan dari material akibat pengaruh musim. Endapan pertahun diambil sebagai satu varve tunggal dan dapat mengandung dua atau lebih unit kumpulan partikel

Klasifikasi dari partikel tanah yang membentuk fitur-fitur tersebut, ditentukan berdasarkan data distribusi ukuran partikel, kadar air, karakteristik plastisitas dan sifat lainnya yang dianggap tepat guna.

#### ***Bentuk dari fitur***

Bentuk dari sebuah fitur dikarakterisasikan berdasarkan ketebalannya, dengan penilaian terhadap kontinuitasnya serta bentuk geometri permukaannya.

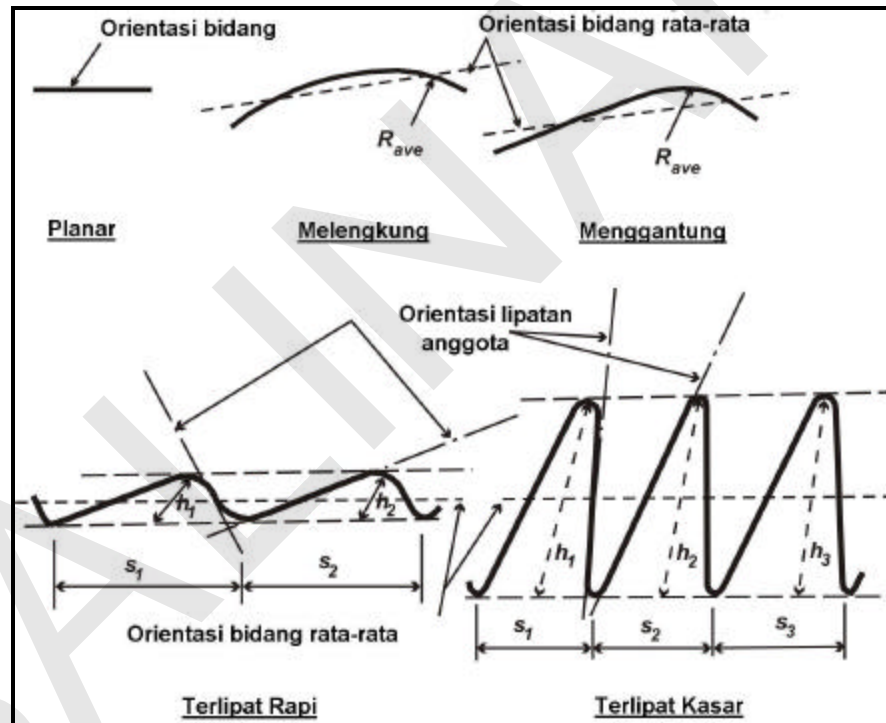
Ketebalan dari berbagai fitur tersebut diukur dalam arah normal terhadap bidang dimana fitur tersebut meluas. Sebagai contoh, jika fitur tersebut horisontal dan datar (*planar*), ketebalannya diukur dalam arah vertikal.

Sehubungan dengan penilaian terhadap kontinuitasnya, permukaan yang diperiksa sering luasnya terbatas, oleh karenanya sebuah penilaian yang benar terhadap kontinuitas tidak akan dapat dilakukan. Kemungkinan terbaik penilaian secara kuantitatif atau bahkan kualitatif seharusnya dibuat, dengan menggunakan korelasi apa saja yang memungkinkan diantara lokasi yang berbeda pada suatu daerah.

Dasar untuk karakterisasi geometri permukaan dari fitur tersebut diberikan dalam Tabel 6-3 dan pada Gambar 6-1.

**Tabel 6-3** Karakterisasi Geometri Permukaan dari Fitur pada Endapan Berlapis

Tipe		Pemeriaan
Planar	Datar	
Melengkung ( <i>Curved</i> )	Baik cekung maupun cembung ke atas dengan radius lengkungan rata-rata, $R$	
Menggantung ( <i>Hinged</i> )	Kombinasi dari datar dan melengkung	
Terlipat ( <i>Folded</i> )	Rapi ( <i>Gentle</i> )	Kombinasi dari kurva cekung dan cembung alternatif dengan panjang gelombang, $S$ , lebih besar dari tinggi gelombang, $h$ .
	Kasar ( <i>Severe</i> )	Kombinasi dari kurva cekung dan cembung alternatif dengan panjang gelombang, $S$ , kurang dari tinggi gelombang, $h$ .



**Gambar 6-1** Geometri Permukaan Fitur pada Endapan Berlapis (McGown dan Jarrett 1997a)

#### ***Data orientasi cekungan (basin) dan susunan ruang***

Untuk fitur yang datar, melengkung dan menggantung, arah (*strike*) kemiringan rata-rata dari fitur tersebut harus diberikan seperti ditunjukkan pada Gambar 6-1; untuk fitur-fitur yang melipat, arah rata-rata dan kemiringan dari fitur keseluruhan dan bagiannya yang harus diberikan.

Data ruang didapat dengan mengukur secara sederhana jarak antara fitur yang serupa dalam arah normal terhadap bidang dimana fitur tersebut meluas.

Frekuensi dari keberadaan fitur tersebut dapat diklasifikasikan sebagaimana diindikasikan pada Tabel 6-4.

**Tabel 6-4** Klasifikasi Frekuensi dari Sedimen Berlapis

Jarak dari Fitur Serupa, $S_f$ : mm	Klasifikasi Frekuensi	Jumlah Fitur Serupa per meter, $f$
Lebih dari 40	Sangat rendah	Kurang dari 25
40 – 20	Rendah	25 - 50
20 – 10	Sedang	50 - 100
10 – 5	Tinggi	100 - 200
5 - 2.5	Sangat tinggi	200 - 400
Kurang dari 2.5	Sangat sering	Lebih dari 400

**Tabel 6-5** Klasifikasi Intensitas dari Sedimen Berlapis

Klasifikasi Intensitas	Persentase Ketebalan Keseluruhan: Ketebalan Rata-rata, $t_{av}$ x Jumlah Fitur Serupa per Meter, $f$
Sangat rendah	Kurang dari 2.5
Rendah	2.5 - 5.0
Sedang	5 - 10
Tinggi	10 - 20
Sangat tinggi	20 - 50
Dominan*	Lebih dari 50

\*Jika fitur serupa melebihi 50% dari tebal keseluruhan, maka harus diistilahkan sebagai matriks tanah.

Data spasi dasar dapat digabung dengan data ketebalan fitur untuk menghitung persentase ketebalan dari berbagai fitur pada arah pengukuran. Hal ini penting dalam hal untuk mendapatkan pengaruh dari fitur terhadap sifat-sifat keteknikan tertentu seperti permeabilitas dan kompresibilitas. Klasifikasi yang diusulkan oleh McGown dan Jarrett untuk persentase ketebalan keseluruhan dari setiap kelompok fitur dalam arah pengukuran diberikan pada Tabel 6-5.

Sebuah metode yang lebih mudah untuk menampilkan data yang diukur dan diturunkan dari analisis makrofotografi ditunjukkan pada Gambar 6-2

1 Proyek :  
2 Lokasi :  
3 Tanggal :  
4 Blok, atau inti : Kedalaman (m): Contoh Tipe dan Ukuran:  
5 Orientasi terhadap aksis dasar : Tanah  
6 Pemerian tanah :  
7 Fitur yang diamati:  
8 Pengukuran:

No. fitur	Sifat dasar		Bentuk			Orientasi		Spasi, S (mm)
	Tipe fitur	Klasifikasi Tanah	Ketebalan, t (mm)	Penilaian kontinuitas	Geometri permukaan	Arah (Strike)	Turunan (DIP)	
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

8 Data yang diturunkan

Pengukuran pada fitur sejenis	Jenis Fitur		
	(a)	(b)	(c)
Ketebalan rata-rata, $t_w$ (mm)			
Spasi rata-rata, $S_w$ (mm)			
Jumlah fitur pada kedalaman yang diukur, N			
Frekuensi per meter, f			
Ketebalan relatif keseluruhan dari fitur per meter, $t_{wr}$			

Gambar 6-2 Formulir Pencatatan Makrofabrik untuk Endapan Berlapis

## 6.3.2

### Prosedur Laboratorium

#### 6.3.2.1

#### Pengeluaran Contoh Tanah dan Pembukaan Permukaan yang Diperiksa

- 1) Keluarkan contoh tanah tak terganggu ke dalam sebuah tabung belah dari plastik yang telah diolesi air.
- 2) Tutupi contoh tanah yang telah dikeluarkan tersebut dengan separuh tabung kedua dan putar hingga sambungan antara keduanya vertikal.
- 3) Masukkan dua batang penggaris baja ke dalam sambungan tersebut hingga mencapai 2/3 dari kedalamannya.
- 4) Secara perlahan pisahkan contoh tanah tersebut keluar dengan menggeser kedua tabung belah pada kedua bagian yang sama panjang tersebut masuk ke dalam tabung separuh plastik tersebut.
- 5) Pilih contoh tanah yang paling baik untuk pemeriksaan makro dan pemotretan; sementara separuh sisanya ditujukan untuk pemeriksaan sifat-sifat indeksinya.

### 6.3.2.2

#### Pemeriksaan dan Pemotretan Makrofabrik

- 1) Pada hari ke-1 letakkan sebagian contoh tanah yang baik pada bingkai pemotretan dengan diberi label yang jelas. Perhatikan, nomor film, kecepatan dan waktu pencahayaan.
- 2) Ukur dari titik spesifik pada bagian atas contoh tanah ke tiap bagian fitur makrofabrik yang terbuka. Catat jarak ke pusat dari tiap fitur dan lakukan pemerian dengan menggunakan istilah standar yang diberikan dalam formulir pencatatan makrofabrik (Gambar 6.2). Kemudian tandai dengan jelas pada formulir tersebut dengan HARI KE-1.
- 3) Pada hari ke-3, lakukan pemotretan kembali contoh tanah tersebut pada bingkai pemotretan seperti pada hari ke-1, jangan lupa untuk merubah semua detil menjadi HARI KE-3.
- 4) Ukur dan catat kembali, dari titik yang sama seperti pada hari ke-1, fitur makrofabrik yang terbuka pada formulir pencatatan makrofabrik yang baru, tandai dengan jelas sebagai HARI KE-3.
- 5) Ulangi proses di atas untuk hari ke-5, dan tandai dengan jelas foto dan formulir pencatatan makrofabrik yang baru sebagai HARI KE-5.

### 6.3.2.3

#### Penyimpanan Data dan Pelaporan

- 1) Simpan data pada satu format lembar pengolahan data dasar.
- 2) Setelah memproses film makrofabrik tersebut, tandai dengan jelas pada bagian belakang dari foto yang dicetak tersebut dengan nomor referensi film yang sesuai dengan film negatif dan nomor contoh tanah serta hari dan tanggal dilakukannya pemotretan tersebut.
- 3) Simpan film negatif tersebut dan cetak.
- 4) Tampilkan kembali fitur yang diukur tersebut ke dalam formulir standar bersama dengan hasil foto yang paling baik yang dipilih untuk setiap harinya. Pilih hasil yang paling baik untuk dimasukkan dalam laporan.

## 7

## Pelaporan

### 7.1

### PERSYARATAN KHUSUS

Dalam metode pengujian yang dijelaskan dalam standar SNI, ASTM dan BSI, rincian dari data yang dilaporkan diberikan untuk tiap-tiap pengujian.

Banyaknya dan sifat dasar dari data pengujian yang dilaporkan bergantung pada kompleksitas dan jenis pengujian. Sebagai contoh, pada kasus uji Konsolidasi Tak Terdrainase (CD) yang dijelaskan pada bab 4.3.2.3 dari Panduan Geoteknik ini, ada empat tahapan yang dijalani: persiapan benda uji, penjenruhan, konsolidasi dan penekanan. Data yang harus dilaporkan untuk *setiap benda uji* dicantumkan dalam BS terdiri dari 15 butir, tidak termasuk persyaratan untuk pemerataan grafis dari data, yang didapatkan secara terpisah. Laporan pengujian juga harus menegaskan bahwa pengujian tersebut dilakukan berdasarkan pasal 4,5,6 dan 8 dari BS 1377:Part 8: 1990, dimana pada bagian tersebut dinyatakan tentang metode yang digunakan (pada contoh khusus ini adalah pengujian triaksial yang terkonsolidasi dan terdrainase dengan pengukuran perubahan volume) dan memberikan informasi lain yang sesuai seperti tercantum pada Bab 8.2 berikut.

Tak ada format standar untuk formulir penghitungan dan pencatatan data pengujian. Meskipun demikian, persyaratan yang pasti adalah formulir apapun yang digunakan, harus cukup untuk menampung pencatatan lengkap dari benda uji, metode pengujian, data pengujian dan perhitungan yang dilakukan pada data tersebut. Pada lampiran dari *9 Parts of BS 1377 (1990)*, sebuah contoh formulir untuk penghitungan dan pencatatan data untuk suatu pengujian diberikan.

Ketika melakukan pemeriksaan kemampuan dari sejumlah laboratorium sebagaimana didiskusikan pada Bab 2, seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memberikan perhatian khusus dalam memeriksa kelengkapan dari formulir yang digunakan untuk mencatat dan menganalisis data dan sistem yang digunakan untuk menyimpan data.

Suatu formulir harus berisi informasi berikut ini:

- acuan atau nomor identifikasi contoh tanah, dan lokasi,
- jenis contoh tanah,
- metode persiapan benda uji,
- lokasi dan orientasi benda uji dalam contoh asli.



- pemerian visual tanah, termasuk fabrik tanah dan semua ciri-ciri lain yang tidak biasa,
- catatan berkenaan dengan gangguan contoh yang nampak atau diduga, termasuk kemungkinan kehilangan kadar air,
- penyimpangan yang tidak bisa dihindari dari prosedur yang disyaratkan, beserta alasan-alasannya,
- tanggal pengujian,
- nama institusi yang melaksanakan pengujian.

Setiap formulir dimana setiap data pengujian dicatat, harus mempunyai ruang untuk nama dan tandatangan sebagai berikut:

Operator	Diperiksa	Disetujui
Nama		
Tanda tangan		

Grafik harus menunjukkan semua titik dimana pemerian dilakukan, tidak hanya berupa kurva garis saja dan diberikan skala sebesar mungkin, dalam satuan yang memudahkan seperti 1, 2, atau 5 divisi per satuan (AASHTO 1988).

Ketika hasil dari sejumlah pengujian ditunjukkan dalam sebuah grafik, sebuah legenda atau lambang harus digunakan untuk mengidentifikasi data yang telah dilakukan pemerian padanya untuk benda uji yang berbeda dan sebuah kotak judul harus ditunjukkan untuk setiap grafiknya, yang meliputi:

- nama proyek,
- nomor proyek,
- tanggal waktu pekerjaan tersebut dilakukan,
- jenis tanah,
- nomor lubang bor dan contoh tanah serta elevasi kedalaman
- data lain yang berkaitan yang mengidentifikasi benda uji.

## 7.2 PERSYARATAN UMUM

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memantau secara langsung kemajuan dari penyelidikan dan harus diberi salinan dari data yang telah diperiksa dan ditandatangani jika datanya telah ada. Dokumen laboratorium harus ada untuk diperiksa oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk ketika mengunjungi laboratorium dan harus memuat catatan *minimum* berikut:

- penampang pemboran,
- Formulir Pengiriman Contoh,

- Formulir Pemeriksaan Contoh,
- data pengujian laboratorium dan perhitungannya,
- detil dari penyimpangan terhadap prosedur standar atau yang telah ditetapkan.

Berkaitan dengan penyimpangan dari standar, hal ini hanya diijinkan dengan persetujuan sebelumnya dari Ahli Geoteknik yang Ditunjuk; dan persetujuan tersebut harus diberikan secara tertulis dan diarsipkan oleh manager laboratorium dan Ahli Geoteknik yang Ditunjuk.

## 7.3

### LAPORAN LABORATORIUM

Laporan untuk penyelidikan laboratorium harus berisi informasi yang dicantumkan di bawah ini jika relevan. Jika bagian yang relevan tidak diikutsertakan dalam Laporan maka alasannya harus diberikan.

#### Sampul

Suatu format contoh diberikan pada Panduan Geoteknik 4.

Laporan harus secara jelas diberi tanda sebagai

**Awal:** jika tidak semua isi yang diinginkan telah dimasukkan,

**Draft:** jika isi dari laporan lengkap, tetapi diedarkan untuk dikomentari. Draf bisa juga mengandung isi yang belum diedit.

**Akhir:**

Tanggal harus selalu dicantumkan pada sampul.

#### Daftar Isi

Harus mencantumkan setiap bagian dari laporan, dengan nomor halaman. Harus berisi semua tabel, gambar, gambar teknik dan lampiran.

Suatu format contoh diberikan pada Panduan Geoteknik 4.

#### Lembar Persetujuan

Suatu format contoh diberikan pada Panduan Geoteknik 4.

Harus diungkapkan jika Laporan berupa Pendahuluan atau Draf

## **Pendahuluan**

Menyediakan rujukan lengkap terhadap laporan sebelumnya.

Menyebutkan tanggal saat pekerjaan berlangsung.

Menyebutkan proyek, pemberi tugas, ahli teknik, tujuan dari penyelidikan dan semua aspek khusus pekerjaan.

Bila Laporan berupa Laporan Awal cantumkan ruang lingkup pekerjaan yang dilaksanakan dan pekerjaan yang belum dilaksanakan.

## **Gambaran Lokasi**

Peta/Denah Kunci dengan rincian yang memadai sehingga seseorang dapat menemukan lokasi tersebut. Peta ini harus menandai tempat dalam hubungannya dengan kota atau desa terdekat dan menyertakan skala dan penunjuk Utara. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus menyiapkan Denah Kunci pada tahap studi meja dan menyediakan gambar teknik untuk digunakan dalam laporan.

Peta Umum dengan rincian yang memadai untuk memperlihatkan rincian proyek dan lokasi titik penyelidikan yang dihubungkan dengan sistem koordinat setempat. Semua penyelidikan yang dilaksanakan pada tahap pendahuluan harus telah ditandai dengan cara mengukur jaraknya terhadap berbagai fitur-fitur lokasi. Lokasi ini harus telah dikoordinasikan sewaktu penyelidikan lapangan utama dilaksanakan.

## **Laboratorium Eksternal**

Nama semua laboratorium eksternal yang terlibat dalam program pengujian, dan dasar pemilihannya harus dinyatakan dalam laporan; pengujian yang dilaksanakan oleh laboratorium eksternal harus secara jelas dinyatakan. Laporan harus memberi komentar mengenai kualitas dari fasilitas yang ada pada laboratorium eksternal tersebut dengan penekanan utama pada semua aspek operasionalnya yang dianggap di bawah standar. Laporan harus menjelaskan bagaimana kinerja laboratorium eksternal tersebut dipantau dan terutama pemenuhannya terhadap prosedur pengendalian mutu.

## **Pengujian Laboratorium**

Rangkuman hasil pengujian menggunakan format yang sama seperti skedul Pengujian Laboratorium. Jika ada bagian pengujian yang diinginkan yang tidak dilaksanakan, dengan alasan apapun maka hal ini harus dinyatakan.

Daftar masing-masing pengujian dan standar yang digunakan untuk pengujian. Bila suatu standar yang diakui tidak dipakai, atau ada penyimpangan dari standar, maka hal ini harus dijelaskan. Jika metode tersebut membutuhkan penjelasan yang panjang, maka harus dimasukkan dalam Lampiran.

Laboratorium harus mengembangkan sistem penjelasan yang baku untuk laporannya.

### **Referensi**

Semua sumber informasi, dan data eksternal lainnya yang digunakan dalam laporan harus dirujuk dengan lengkap.

### **Lampiran**

Lampiran harus meliputi:

Penampang Pemboran yang telah direvisi dengan hasil pengujian laboratorium.

Formulir Pengiriman Contoh

Formulir Pemeriksaan Contoh

Hasil Pengujian Laboratorium

Semua formulir hasil pengujian harus berisi informasi yang diuraikan pada Bagian 7.1.

### **Gambar Teknik**

Semua gambar teknik harus berisi informasi berikut:

Untuk semua gambar teknik: skala garis, nomor gambar teknik, rujukan terhadap data sumber untuk informasi survei dan sebagainya

Untuk peta-peta, sebagai tambahan: penunjuk utara, jaringan.

### **Data Tambahan**

Data mentah dari laboratorium tidak umum untuk dimasukkan dalam laporan. Namun Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus menyimpan suatu dokumen yang berisi data mentah yang diterima dari laboratorium untuk keperluan perujukan.

Suatu bibliografi sekitar sembilan ratus referensi dipersiapkan sebagai bagian dari proyek IGMCM2 dan dimasukkan pada CD Panduan Geoteknik ini.

Semua dokumen pada Bibliografi disimpan di Perpustakaan Pusat Litbang Prasarana Transportasi, kecuali yang disebutkan pada bank data sebagai tersedia di tempat lain di Bandung.

AASHTO (1988), *Manual on Subsurface Investigations*, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, USA.

Akroyd T N W (1957), *Laboratory Testing in Soil Engineering*, Soil Mechanics Limited, London, UK, reprinted 1969.

Al-Khafazi A W & Andersland O B (1992), *Geotechnical Engineering and Soil Testing*, Saunders College Publishing, USA.

ASTM Standards (1994), *Section 4, Construction: Volumes 04.08 and 04.09, Soils and Rock*, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.

Brand E W & Brenner R P (1981), *Soft Clay Engineering*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands.

BS 1377 (1990), *Methods of Test for Soils for Civil Engineering Purposes, Parts 1-9*, British Standards Institution, London.

Head K H (1984), *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1: Soil Classification and Compaction Tests*, Pentech Press Limited, Plymouth, UK.

Hvorslev M J (1949), *Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes*, US Army Waterways Experimental Station, Vicksburg, Miss, USA.

ISO/IEC (1999), *International Standard ISO/IEC 17025: 1999 (E), General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories*, The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission, Geneva, Switzerland.

ISSMFE (1981), *International Manual for the Sampling of Soft Cohesive Soils*, The Sub-Committee on Soil Sampling (ed), International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokai University Press, Tokyo, Japan.

Japanese Standards Association (1960), *Method of Test for Consolidation of Soils*, Japanese Industrial Standard JIS A 1217-1960.

Japanese Standards Association (1977), *Method of Unconfined Compression Test of Soil*, Japanese Industrial Standard JIS A 1216-1958 (revised 1977).

- Krebs R D & Walker R D (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Lambe T W & Whitman R V (1979), *Soil Mechanics*, SI Version, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Landva A O, Pheeney P E & Mersereau D E (1983), *Undisturbed Sampling of Peat*, Testing of Peats and Organic Soils, ASTM STP 820, P M Jarrett (ed), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Landva A O, Korpjakkko E O & Pheeney P E (1983) *Geotechnical Classification of Peats and Organic Soils*, Testing of Peats and Organic Soils, ASTM STP 820, P M Jarrett (ed), American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- La Rochelle P, Leroueil S & Tavenas F (1986), *A Technique for Long – Term Storage of Clay Samples*, Canadian Geotechnical Journal, 23, pp602-605.
- Larsson R, Nilsson G & Rogbeck J (1987), *Determination of Organic Content, Carbonate Content and Sulphur Content in Soils*, Swedish Geotechnical Institute, Linköping, Report No. 27E.
- Larsson R, Nilsson G & Rogbeck J (1989) *Determination of Organic Matter, Carbonates and Sulphides in Soils*, 12<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Rio De Janeiro, pp2091-2094.
- Larsson R (1996), *Organic Soils*, Chapter 1, Embankments on Organic Soils, J Hartlen and W Wolski Eds, Elsevier Science B V, The Netherlands.
- Lechowicz Z, Szymanski A & Baranski T (1996) *Laboratory Investigations*, Chapter 3, Embankments on Organic Soils, J Hartlen and W Wolski (eds), Elsevier Science B V, The Netherlands.
- McGown A & Jarrett P M (1997a), *The Origins, Nature and Characterization of Soft Soils, Organic Soils and Peat*, Seminar 1, INDON-GMC Guides Project, Stage 1, Institute of Road Engineering, Bandung.
- McGown A & Jarrett P M (1997b), *Tropical Soft Soils and Peat: Site Investigation and Laboratory Testing*, Notes on Short Course Presented at the Institute of Road Engineering, Bandung (July 1997).
- Riley J L (1989), *Laboratory Methods for Testing Peat – Ontario Peatland Inventory Project*, Ontario Geological Survey, Miscellaneous Paper 145, Mines and Minerals Division, Ministry of Northern Development and Mines, Ontario, Canada.
- Skempton A W (1953), *The Colloidal ‘Activity’ of Clays*, Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics, 1, Zurich.

# **Lampiran A**

## **Metode Uji Standar yang Dikeluarkan oleh SNI, ASTM dan BSI**

SALINAN



Uji	Metode Pengujian Standar		
	SNI	ASTM (1994)	BS 1377 (1990)
• Klasifikasi lempung dan lanau organik dan inorganik	-	D 2487-93	-
• Klasifikasi gambut	-	D 4427-92	-
• Kadar air asli tanah	SK SNI M-05-1989F (SNI 03-1965-1990)	D 2216-92	-
• Distribusi ukuran partikel	SK SNI M-23-1993-03 (SNI-03-3423-1994)	D 422-63	-
• Berat jenis	-	D 854-92	-
• Berat isi	SK SNI M-07-1993-03 (SNI 03-3637-1994)	-	Klausul 7, Part 2
• Batas cair (metode Casagrande)	-	D 4318-93	-
• Batas plastis	-	D 4318-93	-
• Batas susut (metode merkuri)	-	D 427-93	-
• Batas susut (metode parafin)	-	D 4943-89	-
• Geser baling laboratorium	-	D 4648-87	-
• Kadar bahan organik (metode hilang pijar)	-	D 2974-87	Klausul 4, Part 3
• Kadar bahan organik (metode oksidasi dikromat)	-	-	Klausul 3, Part 3
• Kadar air asli gambut dan tanah organik lainnya	-	D 2974-87	-
• Berat isi gambut	-	D 44531-86 (disetujui kembali 1992)	-
• Kadar serat gambut	-	D 1997-85	-
• Ekstraksi air pori dan pengukuran salinitas	-	D 4542-85 (disetujui kembali 1990)	-
• Konduktivitas			
• pH bahan gambut	-	D 2976-71 (disetujui kembali 1990)	-
• pH tanah	Pd.M-12-1997-03	D 4972-89	-
• Kandungan karbonat	-	D 4373-84 (disetujui kembali 1990)	Klausul 6, Part 3

**Tabel A1** Metode Uji Standar yang Diterbitkan oleh SNI, ASTM dan BSI.

Uji	Standard Method of Test		
	SNI	ASTM (1994)	BS 1377 (1990)
• Kandungan klorida	-	-	Klausul 7, Part 3
• Kandungan sulfat	-	-	Klausul 5, Part 3
• Geser langsung	SK SNI M-108-1990-03 (SNI 03-2813-1992)	D 3080-90	-
• Uji Kompresi triaksial tak terkonsolidasi tak terdrainase (UU)	Pd.M22-1996-03 (SNI 03-4813-1998)	D 2850-87	-
• Uji Kompresi triaksial terkonsolidasi tak terdrainase (CU)	SK SNI M-05-1990F (SNI 03-2455-1991)	D 4767-88	-
• Uji Kompresi triaksial terkonsolidasi terdrainase (CD)	-	-	Klausul-klausul 4, 5, 6 dan 8 dari Part 3
• Uji Konsolidasi satu-dimensi	SK SNI M-107-1990-03 (SNI 03-2812-1992)	D 2435-90	-
• Uji konsolidasi menggunakan sel hidrolik (Rowe)	-	-	Klausul 3, Part 6
• Uji permeabilitas (permeameter tinggi tekan tetap)	-	-	Klausul 5, Part 5
• Uji Permeabilitas (alat triaksial)	-	-	Klausul 6, Part 6
• Uji Permeabilitas (sel konsolidasi hidrolik)	-	-	Klausul 4, Part 6
• Pemerian dan identifikasi tanah	-	D 2488-93	-

**Tabel A2** Metode Uji Standar yang Diterbitkan oleh SNI, ASTM dan BSI (lanjutan).

## **Lampiran B**

### **Uji Tekan Triaksial Terkonsolidasi Terdrainase dengan Pengukuran Perubahan Volume: Klausul 5, 6 dan 8 dari BS 1377: Part 8: 1990**

## 5 Saturation

### 5.1 General

The objective of the saturation stage is to ensure that all the voids are filled with water. This is often achieved by raising the pore pressure in the specimen to a level high enough for the water to absorb into solution all the air originally in the voids. The pore pressure can be increased either:

- by applying water pressure (the back pressure) to the specimen, and at the same time increasing the cell pressure in order to maintain a small positive effective stress; or
- by increasing the cell pressure only.

The saturation process has to take into account two conflicting conditions, as follows.

- The applied effective stresses should not be so high as to excessively pre-stress or overconsolidate the specimen.
- The effective stress should not fall below the level required to prevent swelling of soils that have a significant swelling potential (unless this property is to be investigated and steps are taken to make appropriate measurements).

In this clause, two saturation procedures are described. Saturation by applying alternate increments of cell pressure and back pressure is described in 5.3 (see notes 1 and 2). Saturation at constant moisture content is described in 5.4 (see note 3).

NOTE 1. The degree of saturation is estimated by determining the value of the pore pressure coefficient  $B$ , and the criterion that  $B$  should be greater than or equal to 0.95 usually represents a degree of saturation that is acceptable. (See 5.3.)

NOTE 2. This procedure may also be followed by increasing the cell pressure and back pressure simultaneously.

NOTE 3. This procedure is necessary when swelling of the specimen would significantly affect measured values such as pore pressure changes during shear. The time required is appreciably longer than when a back pressure is used.

### 5.2 Basic requirements

The conditions described in (a) to (d) below shall apply to all saturation procedures except where stated otherwise.

(a) Water applied to the specimen from the back pressure system shall be freshly de-aerated in accordance with 5.2 of BS 1377 : Part 1 : 1990.

(b) The magnitude of a cell pressure increment shall not exceed 50 kPa, or the effective stress to which the specimen is to be consolidated for the compression test (the 'desired effective consolidation pressure'), whichever is less, unless otherwise specified. (See note 1.)

NOTE 1. Cell pressure increments of 50 kPa until a  $B$  value of about 0.8 has been achieved, and 100 kPa thereafter, have been found to be suitable for many soil types, provided that the desired effective consolidation pressure is greater than 100 kPa.

(c) The difference between cell pressure and back pressure (the 'differential pressure') shall be not greater than the desired effective test pressure, or 20 kPa, whichever is less, and shall be not less than 5 kPa. (See note 2.)

NOTE 2. A differential pressure of 10 kPa has been found to be suitable for many soils for which swelling is not significant at this level of effective stress.

(d) For a soil with swelling potential, the differential pressure shall not normally be less than the effective stress considered necessary to prevent swelling, or 5 kPa, whichever is greater.

NOTE 3. When observing changes in pore pressure or volume it may be convenient to plot readings against time to ascertain when a steady state has been achieved.

### 5.3 Saturation by increments of cell pressure and back pressure

5.3.1 *General.* In this method, increments of cell pressure and back pressure are applied alternately. The cell pressure increment stages are carried out without allowing drainage into or out of the specimen, which enables values of the pore pressure coefficient  $B$  to be determined at each level of total stress.

Back pressure can be applied to the specimen at the top end, or both ends. For the latter, the back pressure valve and the base drainage valve are both connected to the back pressure system.

5.3.2 *Procedure.* The procedure shall be as follows. (See form 8.B of appendix A.)

(a) Ensure that the back pressure valve or valves and the flushing system valve (see figure 1) are closed. Apply the first increment of cell pressure immediately after setting up. (See item (b) of 5.2.)

(b) Observe the pore pressure until it reaches an equilibrium value, (see note 3 of 5.2) and record it. If the pore pressure decreases appreciably (possibly after an initial increase) proceed to the step described in item (c) without waiting for equilibrium, in order to ensure that the pore pressure does not reach zero.

(c) Increase the cell pressure by 50 kPa and repeat the step described in item (b). If a steady value of pore pressure is reached, record it, and calculate the change in pore pressure ( $\delta u$ , in kPa) resulting from this increment. Calculate the value of the pore pressure coefficient  $B$  from the following equation.

$$B = \frac{\delta u}{50}$$

If  $B$  is equal to or greater than 0.95, the specimen can be considered to be saturated and the consolidation stage (see 6.2) can be started. Otherwise proceed as described in items (d) to (j) below.

(d) Keeping the back pressure valve and the flushing system valve closed, increase the pressure in the back pressure line to a value equal to the cell pressure less the selected differential pressure. (See items (c) and (d) of 5.2.) (If the pore pressure at this stage is greater than the intended back pressure a further increment, or increments, of cell pressure shall be applied until the corresponding back pressure exceeds the equilibrium pore pressure, or until the  $B$  value equals or exceeds 0.95.)

Record the reading of the back pressure line volume-change indicator ( $V_1$ ) when it reaches a steady value, i.e. after expansion of the connecting lines.

(e) Open the back pressure valve (and the base drainage valve if pressurizing from both ends) to admit the back pressure into the specimen.

(f) Observe the pore pressure and the volume-change indicator readings. When the pore pressure becomes equal to the applied back pressure (if pressurizing the top end only, and side drains are not used), and the volume-change indicator shows that movement of water into the specimen has virtually ceased, record these readings ( $u_2$  and  $V_2$  respectively) and close the back pressure valve (and the base drainage valve if appropriate). Monitor the pore pressure until equilibrium is established.

(g) If required, calculate the volume of water taken in by the specimen, i.e. its incremental change in volume, during this stage, from the difference between readings  $V_1$  and  $V_2$ .

(h) Increase the cell pressure by a further suitable increment ( $\delta\sigma_3$ ). (See the step described in item (b).) Observe the resulting change in pore pressure ( $\delta u$ ), as in the step described in item (b). When equilibrium is established, calculate the value of the pore pressure coefficient  $B$  from the following equation.

$$B = \frac{\delta u}{\delta \sigma_3}$$

(i) Repeat the operations described in steps (d) to (h) until the pore pressure coefficient  $B$  indicates that saturation is achieved. The specimen is considered to be saturated when the pore pressure remains stable after 12 h, or overnight, and the value of  $B$  is equal to or greater than 0.95. In certain stiff fissured clays it may not be possible to achieve this, and a value of  $B$  of 0.90 which remains unchanged after three successive increments of cell pressure and back pressure as described in steps (d) to (h) is considered acceptable.

(j) If required, calculate the total volume of water taken up by the specimen into the air voids by totalling the differences obtained from the procedures described in item (g).

NOTE. A graph of  $B$  value against cell pressure at the end of each increment, or against pore pressure responses to cell pressure changes, may be plotted.

#### 5.4 Saturation at constant moisture content

**5.4.1 General.** No water shall be allowed to enter or leave the specimen during this procedure, in which saturation is achieved by raising only the cell pressure.

**5.4.2 Procedure.** The procedure shall be as follows.

(a) Increase the cell pressure to a nominal level, such as 50 kPa or 100 kPa.

(b) Allow the pore pressure to reach equilibrium (see item (f) of 5.3.2).

(c) Apply additional equal increments of cell pressure, record the resulting values of pore pressure, as in the steps described in items (a) and (b) of this clause, and calculate the corresponding  $B$  values.

(d) The specimen is considered to be saturated when one of the criteria of item (i) of 5.3.2 is satisfied.

The saturated specimen is then ready for consolidation to the desired state of effective stress by the procedure given in clause 6.

## 6 Consolidation

### 6.1 General

The consolidation stage follows immediately after the saturation stage (clause 5), and the same apparatus is used. Consolidation of the specimen for these tests is isotropic. The objective of the consolidation stage is to bring the specimen to the state of effective stress required for carrying out the compression test. Data obtained from the consolidation stage are used for estimating a suitable rate of strain to be applied during compression, for determining when consolidation is complete, and for computing the dimensions of the specimen at the start of the compression stage.

The effective stress in the specimen is increased to the desired value by raising the cell pressure and dissipating the resulting excess pore pressure to an appropriate back pressure. The back pressure should not be reduced below the level of the pore pressure in the final step of the saturation stage, or 300 kPa, whichever is greater.

### 6.2 Consolidation procedure

After completion of the saturation stage, the back pressure valve (see figure 1) remains closed and the final pore pressure and volume-change indicator readings are recorded.

The consolidation procedure shall be as follows. (See form 8.C of appendix A.)

(a) Increase the pressure ( $\sigma_3$ ) in the cell pressure line and adjust the back pressure if necessary, to give a difference equal to the required effective consolidation pressure ( $\sigma_3'$ ) such that

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u_b$$

(b) Record the pore pressure when a steady value ( $u_1$ ) (in kPa) is reached.

NOTE 1. It may be convenient to record and plot readings of pore pressure against time to establish when equilibrium is reached.

NOTE 2. The excess pore pressure to be dissipated is equal to

$$(u_1 - u_b)$$

(c) Record the reading of the volume-change indicator. At a convenient moment (zero time) start the consolidation stage by opening the back pressure valve or valves.

(d) Record readings of the volume-change indicator, at suitable intervals of time.

NOTE 3. Suitable intervals for convenience of plotting the readings against square-root time are 0,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$ , 1,  $2\frac{1}{4}$ , 4, 9,  $12\frac{1}{4}$ , 16, 25, 36, 64 min, and 2, 4, 8, 16, 24 h. These time intervals give a regular spacing of points when plotted, but more frequent readings may need to be taken for soils which compress very rapidly. Readings may be taken at other time intervals so long as they enable the square-root time/compression curve to be plotted with sufficient accuracy.

(e) Allow consolidation to continue until there is no further significant volume change, and until at least 95 % of the excess pore pressure has been dissipated, i.e. until  $U \geq 95\%$  in the following equation:

$$U = \frac{u_i - u}{u_i - u_b} \times 100\%$$

where

$U$  is the degree of consolidation (in %);

$u$  is the observed pore pressure reading at time  $t$ .

(f) When consolidation is complete, record the reading of the volume-change indicator and calculate the total change in volume ( $\Delta V_c$ ) during the consolidation stage. Record the pore pressure  $u_c$  (in kPa).

(g) The consolidated specimen is then ready for either an undrained compression test (clause 7) or a drained compression test (clause 8).

### 6.3 Calculation and plotting

(See form 8.C of appendix A.)

6.3.1 Calculate the dimension of the specimen after consolidation from the following equations: (See note.)

(a) volume:  $V_c = V_o - \Delta V_c$

(b) area:  $A_c = A_o \left[ 1 - \frac{2}{3} \frac{\Delta V_c}{V_o} \right]$

(c) length:  $L_c = L_o \left[ 1 - \frac{1}{3} \frac{\Delta V_c}{V_o} \right]$

where

$V_c$  is the consolidated volume (in  $\text{cm}^3$ );

$V_o$  is the original specimen volume (in  $\text{cm}^3$ );

$\Delta V_c$  is the change in volume during consolidation as determined from the volume of water draining out of the specimen (in  $\text{cm}^3$ );

$A_c$  is the consolidated area of cross section (in  $\text{mm}^2$ );

$A_o$  is the original specimen area of cross section (in  $\text{mm}^2$ );

$L_c$  is the consolidated length (in mm);

$L_o$  is the original specimen length (in mm).

NOTE. If the change in volume during saturation is significant it should be estimated, e.g. from a datum inside the cell for measuring the change in specimen length and included with  $\Delta V_c$ .

6.3.2 Plot a graph of the measured volume change against square-root time.

NOTE. Percentage pore pressure dissipation may also be plotted against logarithm of time, if measured and if appropriate.

6.3.3 Draw the straight line which best fits the early portion of the plot of volume change against square-root time (this portion normally lies within about the first 50 % of the volume change readings). Draw a horizontal line through the final point on the plot. (See figure 3.) At the point where these lines intersect, read off the value of square-root time, denoted by  $\sqrt{t_{100}}$  and calculate the time intercept of this point,  $t_{100}$  (in min).

6.3.4 Calculate the value of the coefficient of consolidation,  $c_v$  (in  $\text{m}^2/\text{year}$ ) for isotropic consolidation (see note) from the following equation:

$$c_v = \frac{1.65 D^2}{\lambda t_{100}}$$

where

$D$  is the diameter of the specimen (in mm);

$\lambda$  is a coefficient which depends on the drainage conditions and the length: diameter ratio ( $r$ ) of the specimen as shown in table 1.

NOTE. The value of  $c_v$  derived in this way should not be applied to engineering settlement calculations because it has been shown to be grossly in error when side drains are used.

6.3.5 Calculate the value of the coefficient of volume compressibility (if required) for isotropic consolidation,  $m_{vi}$  (in  $\text{m}^2/\text{MN}$ ), from the following equation:

$$m_{vi} = \frac{\Delta V_c / V_o}{u_i - u_c} \times 1000$$

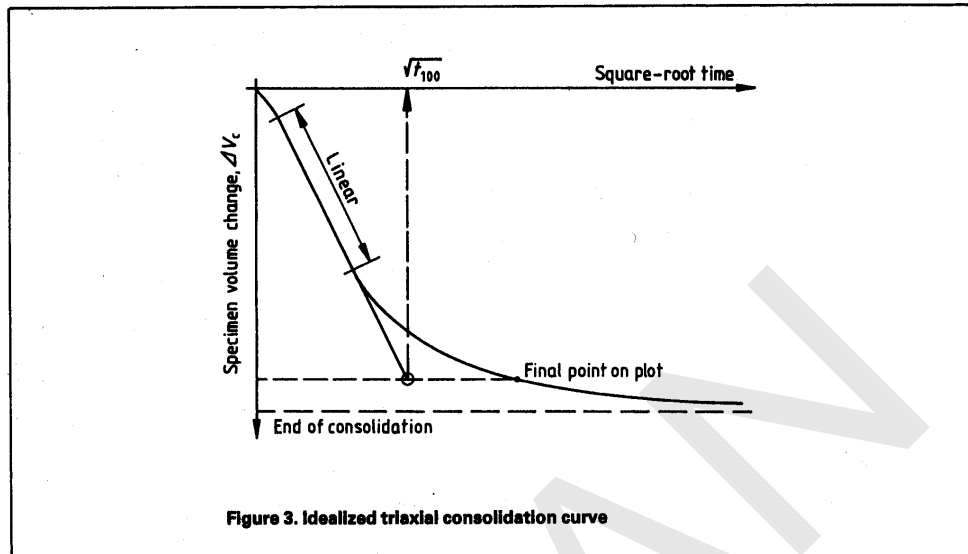
where

$\Delta V_c$  is the change in volume of the specimen due to consolidation (in  $\text{cm}^3$ );

$V_o$  is the original specimen volume (in  $\text{cm}^3$ );

$u_i$  is the pore pressure at the start of the consolidation stage (in kPa);

$u_c$  is the pore pressure at the end of consolidation (in kPa).



**6.3.6** Calculate the significant testing time  $t_f$  (in min) in the compression test, from the following equation:

$$t_f = F t_{100}$$

where

$F$  is a coefficient which depends on the drainage conditions, and the type of compression test, i.e. undrained or drained.

Values of  $F$  for drained tests, and for undrained tests on non-sensitive specimens that deform in a plastic manner, are included in table 1. (See notes 1 and 2). For stiff fissured soils and sensitive soils, use the factor given for drained tests for both drained and undrained tests.

**NOTE 1.** The factor  $F$  is based on 95 % dissipation of excess pore pressure induced by shear, which is acceptable for most practicable purposes.

**NOTE 2.** Soils of relatively high permeability may give calculated times to failure that are unrealistically short. The time to failure should not be less than 2 h.

**6.3.7** Estimate the significant strain interval for the test specimen,  $\epsilon_f$ , as follows.

(a) If only the condition at failure (according to the criteria defined in 1.2.8) is significant,  $\epsilon_f$  is the estimated strain at which failure will occur.

(b) If approximately uniformly-spaced intermediate readings, each requiring equalization of pore pressure, are significant,  $\epsilon_f$  is the strain increment between each reading.

**NOTE.** This method is necessary when a stress path is to be derived from the test.

Table 1. Factors for calculating $c_v$ and time to failure				
Drainage conditions during consolidation	Values of $\lambda$		Values of $F$ (for $r = 2$ )	
	$L/D = 2$	$L/D = r$	Drained test	Undrained test*
From one end	1	$r^2/4$	8.5	0.53
From both ends	4	$r^2$	8.5	2.1
From radial boundary and one end	80	$3.2(1 + 2r)^2$	14	1.8
From radial boundary and two ends	100	$4(1 + 2r)^2$	16	2.3
*For plastic deformation of non-sensitive soils only.				

6.3.8 Calculate the rate of axial displacement ( $d_r$ , in mm/min) to be applied to the specimen from the following equation:

$$d_r = \frac{e_f \times L_c}{t_f}$$

where

$L_c$  is the length of the consolidated specimen (in mm);  
 $e_f$  is the significant strain interval for the test specimen;  
 $t_f$  is the significant testing time (in min).

This gives the maximum nominal machine speed for the test. (See note.)

NOTE. The 'machine displacement speed' is the speed as given by the manufacturer for each gear ratio when the machine is running under zero load. The actual speed under load may be less than this. The 'closing gap speed' is less than the machine speed due to deformation of the load measuring device and of the load frame. The actual rate of axial displacement of the specimen is the 'closing gap speed', and allowance should be made for the difference between this and the nominal machine displacement speed if greater accuracy is necessary.



## 8 Consolidated-drained triaxial compression test with measurement of volume change

### 8.1 General

In this test, during the compression stage, the cell pressure is maintained constant while the specimen is sheared at a constant rate of axial deformation (strain-controlled compression) until failure occurs. Free drainage of pore water from the specimen is allowed. The test is run slowly enough to ensure that pore pressure changes due to shearing are negligible. The required rate of strain can be much slower than that for a consolidated-undrained test on a similar specimen under similar conditions. Since the pore pressure remains virtually constant, the effective confining pressure does not vary. The volume of pore fluid draining out of or into the specimen is measured by means of the volume change indicator in the back pressure line, and is equal to the change in volume of the specimen during shear. Pore pressure can be monitored at the base as a check on the efficacy of drainage.

The test procedure described in 8.2 to 8.6 relates to a saturated specimen in the triaxial cell which has been brought to the required effective stress by consolidation in accordance with clause 6.

The requirements of BS 1377 : Part 1, where appropriate, shall apply to this test method.

### 8.2 Compression stage

**8.2.1** Set up the triaxial cell on the compression machine if it has stood elsewhere during saturation and consolidation.

**8.2.2** Adjust the machine platen, either by hand or by motor drive, until the cell loading piston is brought to within a short distance of the specimen top cap. Record the reading of the force-measuring device during this operation as the initial reading.

**NOTE.** This procedure allows for the combined effects of cell pressure acting on the piston and frictional resistance in the piston bush or seal. If the design of force-measuring device permits, the scale of the gauge should be adjusted so that the initial reading is zero.

**8.2.3** Adjust the compression machine to give the rate of displacement as close as possible to, but not exceeding, that calculated in 6.3.8.

**8.2.4** Make further adjustments to bring the loading piston just into contact with the seating on the top cap of the specimen. Check that the piston is properly seated and in correct alignment, ensuring that the axial force applied to the specimen is as small as possible.

**8.2.5** Secure the axial deformation gauge so that it can measure a vertical deformation up to at least 25 % of the specimen length. Observe the initial reading, or set the dial to read zero.

**8.2.6** Ensure that the cell pressure valve and back pressure valve or valves are open, and open the valve to the pore pressure measuring device. (See figure 1.)

**8.2.7** Record the following as the initial readings for the compression stage: (See form 8.E of appendix A.)

- (a) date and clock time;
- (b) deformation gauge reading;
- (c) force device reading;
- (d) volume-change indicator reading;
- (e) pore pressure;
- (f) cell pressure.

**8.2.8** Apply compression to the specimen and simultaneously start the timer.

**8.2.9** Record sets of readings of the deformation gauge, force device and volume-change gauge at intervals during the test. Record at least 20 sets of readings in order to define the stress-strain curve clearly in the vicinity of failure. (See notes 1 to 4.)

**NOTE 1.** For a very stiff soil which is likely to fail suddenly at a small strain, readings should be taken at regular intervals of stress rather than of strain to obtain the required number of readings.

**NOTE 2.** Readings of pore pressure need not be recorded with every set of readings as long as they do not vary beyond the stated limits (see 8.2.11).

**NOTE 3.** The cell pressure and back pressure should be checked periodically during the course of the test to ensure that they remain constant. They should be adjusted as necessary.

**NOTE 4.** Elapsed time readings should be recorded periodically to provide a check on the actual applied rate of strain.

**8.2.10** Calculate values of deviator stress ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) (in kPa) as described in 8.4, and plot them as ordinates against axial strain (in %) as abscissa, while the test is still in progress.

**NOTE.** Volumetric strain, or specimen volume change, may also be plotted against strain at the same time.

**8.2.11** Observe the pore pressure periodically, and if it varies from the value of the back pressure by more than 4 % of the effective confining pressure, decrease the rate of strain by 50 % or more.

**8.2.12** Continue the test until either of the following conditions has been clearly identified, depending on the specified failure criterion as defined in 1.2.8:

- (a) maximum deviator stress; or
- (b) shear deformation continuing at constant volume and constant shear stress.

**NOTE.** If neither of the required failure conditions is evident, terminate the test at an axial strain of 20 %. In this case do not report a shear strength.

**8.2.13** Stop the compression stage, close the pore pressure valve to the pore pressure device and close the back pressure valve. Open the flushing system valve to protect the transducer.

### 8.3 End of test procedures

**8.3.1 Dismantling.** When the compression stage is finished, remove the specimen from the triaxial cell pedestal as quickly as possible so that the absorption of water from the porous discs is kept to a minimum.

The sequence of operations shall be as follows.

- Ensure that the back pressure valve or valves and the pore pressure line valves are closed. (See figure 1.)
- Remove the axial force from the specimen.
- Reduce the cell pressure to zero and drain the cell.
- Dismantle the cell and remove the specimen.
- Remove the top cap, rubber membrane, porous discs, and side drains (if used).
- Sketch the mode of failure of the specimen.

### 8.3.2 Final measurements

**8.3.2.1** Weigh the whole specimen and calculate the final density using the final calculated volume ( $V_c - \Delta V$ ), where  $V_c$  is the volume at the end of the consolidation stage and  $\Delta V$  is the volume decrease during the compression stage.

**8.3.2.2** Dry the whole specimen to constant mass, and determine the moisture content of the specimen as a whole, using the procedure described in 3.2 of BS 1377 : Part 2 : 1990. Break down a large sample before placing it in the oven.

### 8.4 Calculations

(See form 8.E of appendix A.)

From each set of readings, calculate the following.

- (a) *Axial strain*,  $\epsilon$ , given by:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_c}$$

where

$L_c$  is the length of the specimen after consolidation (in mm);

$\Delta L$  is the change in length (from the initial length) during compression, as determined from the deformation gauge (in mm).

NOTE 1. For the purposes of this British Standard, strains are calculated as cumulative strain, i.e. the changes in dimension related to the initial reference dimension.

- (b) *Volumetric strain due to compression*,  $\epsilon_v$ , given by:

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V}{V_c}$$

where

$\Delta V$  is the change in volume of the specimen from the start of compression (see note 2);

$V_c$  is the volume of the consolidated specimen at the start of compression.

NOTE 2. The sign convention used is that compressive stresses are positive, and therefore a decrease in volume (compression or consolidation) is positive and an increase in volume (dilatancy or swelling) is negative.

- (c) *Area of cross section of the specimen normal to its axis*, assuming that it deforms as a right cylinder. The area,  $A_s$  (in mm<sup>2</sup>), is given by:

$$A_s = \frac{1 - \epsilon_v}{1 - \epsilon} A_c$$

where

$A_c$  is the initial area of specimen normal to its axis at the start of compression.

- (d) *Axial force*,  $P$  (in N), applied to the specimen additional to that due to the cell pressure, given by:

$$P = (R - R_0) C_r$$

where

$R$  is the reading of the force-measuring device (in divisions or digits);

$R_0$  is the initial reading of the force-measuring device corresponding to zero applied load (in divisions or digits);

$C_r$  is the calibration factor of the force-measuring device (in N/division or digit).

- (e) *Applied axial stress*, i.e. the measured principal stress difference, or deviator stress  $(\sigma_1 - \sigma_3)_m$  (in kPa), given by:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_m = \frac{P}{A_s} \times 1000$$

- (f) *A membrane correction*, which shall be applied to allow for the restraining effect of the rubber membrane. The curve in figure 4 gives the correction to apply to a specimen initially 38 mm diameter enclosed in a membrane 0.2 mm thick. For other conditions the correction obtained from figure 4 shall be multiplied by:

$$\frac{38}{D} \times \frac{t_m}{0.2}$$

to give the value of  $\sigma_{mb}$  to be used, where

$D$  is the initial specimen diameter (in mm);

$t_m$  is the thickness of membrane (which may consist of more than one layer) enclosing the specimen (in mm).

- (g) *A drain correction*. When vertical side drains are fitted, an additional correction,  $\sigma_{dr}$ , shall be applied for strains exceeding 0.02 (2 %). The value of  $\sigma_{dr}$  shall be taken from table 2.

NOTE 3. The combined behaviour of membranes and side drains during axial compression is complex and there is no consensus of opinion on the precise corrections to apply. Those corrections given in table 2 are based on simplifying assumptions and represent compromise values.

- (h) *Corrected deviator stress*  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  (in kPa), given by:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = (\sigma_1 - \sigma_3)_m - \sigma_{mb} - \sigma_{dr}$$

- (i) *Major principal stress*,  $\sigma_1$  (in kPa), given by:

$$\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$$

where

$\sigma_3$  is the cell confining pressure.

(j) *Effective major and minor principal stresses*, ( $\sigma_1'$  and  $\sigma_3'$ ) (in kPa), given by:

$$\sigma_1' = \sigma_1 - u$$

$$\sigma_3' = \sigma_3 - u$$

where

$u$  is the pore pressure.

(k) *If required, stress path parameters*,  $s'$  and  $t'$ , (in kPa) in terms of effective stress, given by:

$$s' = \frac{1}{2} (\sigma_1' + \sigma_3')$$

$$t' = \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_3')$$

### 8.5 Graphical plots

Plot on graphs the following data.

(a) The stress strain curve, with axial strain (usually as percentage) as abscissa and deviator stress as ordinate. Where failure is defined by a maximum value of deviator stress, derive the maximum value from a smooth curve drawn through the observed points. (See note.) Read from the curve the corresponding value of axial strain.

NOTE. The curve may indicate a maximum value intermediate between two sets of readings.

(b) Volume change curve, using the same abscissa as in item (a), and volume change (either in  $\text{cm}^3$ , or as volumetric strain) as ordinate.

(c) The Mohr circle of effective stress, representing the condition at failure.

### 8.6 Expression of results

**8.6.1 General.** The test report shall affirm that the test was carried out in accordance with clauses 4, 5, 6 and 8 of BS 1377 : Part 8 : 1990. It shall contain a statement of the method used, i.e. the consolidated-drained triaxial compression test with measurement of volume change, in addition to the relevant information listed in clause 9 of BS 1377 : Part 1 : 1990.

For each specimen tested, the data listed in 8.6.2 shall be reported. Where a number of specimens are tested as a set, the data shall be combined as outlined in 8.6.3.

**8.6.2 Single specimen.** The data for each test specimen shall be as follows:

- depth and orientation of the test specimen within the original sample;
- initial specimen dimensions;
- initial moisture content, bulk density;
- whether side drains were fitted;
- method used for saturating the specimen, including pressure increments applied and differential pressure, if applicable;

(f) pore pressure, cell pressure and value of pore pressure coefficient  $B$  at the end of saturation;

(g) cell pressure, back pressure and effective pressure used for consolidation;

(h) pore pressure and percentage pore pressure dissipation at termination of the consolidation stage;

(i) graphical plot of volume change or volumetric strain against square-root time for the consolidation stage, as described in 6.3;

(j) rate of axial displacement applied to the specimen (in millimetres per minute or percent strain per hour);

(k) pore pressure and effective stress at the start of the compression stage;

(l) failure criterion adopted;

(m) axial strain, deviator stress, volumetric strain, pore pressure and effective major and minor principal stresses at failure;

(n) sketch of specimen after test, indicating mode of failure;

(o) details and magnitude of corrections applied to the measured deviator stress;

(p) final density and moisture content;

(q) graphical plots, as described in 8.5.

**8.6.3 Set of specimens.** When a number of specimens taken from one soil sample are tested at different effective pressures for the evaluation of shear strength parameters, numerical data listed in 8.6.2 shall be grouped together and reported as a set.

NOTE 1. Graphical plots as detailed in 8.5 may be presented separately for each specimen, or grouped together on common axes.

NOTE 2. The shear strength parameters in terms of effective stress, i.e. the cohesion,  $c'$  (in kPa), and the angle of shear resistance, in  $\phi'$  (in degrees) may be derived as follows (but see note 3).

Draw the line of best fit through the plotted points representing values of  $s'$  and  $t'$  at failure according to the selected failure criterion.

Determine the value of  $t'$  where this line intersects the  $t'$  axis ( $t'_0$  kPa).

Measure the inclination of this line to the horizontal ( $\theta$  degrees).

Calculate the shear strength parameters from the following relationships:

$$\sin \phi' = \tan \theta$$

$$c' = \frac{t'_0}{\cos \phi'}$$

NOTE 3. Individual specimens prepared from a common soil sample, though apparently identical, often differ in their stress-strain behaviour and other properties. Specimen variability may cause difficulties in assigning shear strength parameters which accurately represent the sampled material as a whole.

NOTE 4. Alternatively, the shear strength parameters may be obtained by drawing a linear envelope to the set of Mohr circles of failure (according to the selected failure criterion) and measuring the intercept with the vertical axis ( $c'$ ) and the inclination to the horizontal ( $\phi'$ ).

## **Lampiran C**

**Persiapan Contoh Tanah Tak  
Terganggu untuk Pengujian:  
Klausul 8, BS 1377: Part 1: 1990**

## 8 Preparation of undisturbed samples for testing

### 8.1 General

**8.1.1 Procedures.** This clause covers the preparation of test specimens from undisturbed samples of soil received from the field, where the procedure is common to more than one type of test. Procedures that relate specifically to the preparation of samples for one type of test shall be as given in the relevant clauses of the appropriate Part of this standard.

Five procedures are described which depend on the type of undisturbed sample and the purpose of the test specimen, as follows:

- (a) cylindrical specimen of the same diameter as the sample tube (see 8.3);
- (b) cylindrical specimen, or set of specimens, of smaller diameter than the sampling tube (see 8.4);
- (c) cylindrical specimen from a block sample (see 8.5);
- (d) disc or square specimen from a sample in a sampling tube (see 8.6);
- (e) disc or square section from a block sample (see 8.7).

These procedures shall also apply to the preparation of specimens from samples of compacted soil made up as described in clause 7.

**8.1.2 Preservation of samples.** Loss of moisture from undisturbed samples shall be prevented during transportation, preparation and storage.

NOTE. In the short term this may be achieved by wrapping samples in thin clinging plastics film, followed by aluminium foil.

Tests shall be carried out as soon as possible after sampling, but if longer-term storage is necessary, samples shall be well sealed and stored in a room that is frost-free and not subjected to vibration.

During transportation, undisturbed samples shall be packed and stowed so as to be frost free and cushioned against jolting and vibration.

NOTE. Ideally, undisturbed samples should be prepared for test, and stored, in an area maintained at a high relative humidity.

### 8.2 Apparatus

#### 8.2.1 Apparatus common to all procedures

##### 8.2.1.1 A sharp thin-bladed trimming knife.

##### 8.2.1.2 A scalpel.

##### 8.2.1.3 A spatula.

##### 8.2.1.4 Two wire-saws, one of piano wire about 0.4 mm in diameter and the other a spiral wire-saw.

##### 8.2.1.5 A saw, medium to coarse teeth.

##### 8.2.1.6 A metal straight-edge trimmer, such as a steel strip about 300 mm long, 25 mm wide and 3 mm thick, with one bevelled edge.

##### 8.2.1.7 A straight-edge such as an engineer's steel rule in good condition, graduated to 0.5 mm.

##### 8.2.1.8 A steel try-square.

##### 8.2.1.9 Vernier calipers, readable to 0.1 mm.

##### 8.2.1.10 A flat glass plate, about 300 mm square and 10 mm thick.

#### 8.2.2 Additional apparatus for 8.3

##### 8.2.2.1 An extruder to suit the sample tube, and to which it can be securely attached during extrusion.

##### 8.2.2.2 Suitable supports, needed for some soils, to prevent distortion of the sample as it is extruded.

NOTE. Plastics guttering of the same nominal diameter as the specimen has been found to be suitable for this purpose, provided that it can be properly aligned and supported.

##### 8.2.2.3 A split mould assembly.

#### 8.2.3 Additional apparatus for 8.4

##### 8.2.3.1 An extruder, as in 8.2.2.1.

##### 8.2.3.2 Thin-walled tube(s) for cutting the test specimen(s). The tubes shall be smooth inside and out and turned at one end to form a cutting edge at the inner surface of the tube. The area ratio shall be kept as low as possible consistent with the strength requirements of the specimen tube, and its value shall not exceed 20 %. The length of the tube shall be about 50 % greater than the required length of the specimen.

NOTE. The area ratio,  $A$ , is defined as the volume of soil displaced by the sampler in proportion to the volume of the sample and is given by the equation:

$$A = \frac{D_0^2 - D_1^2}{D_1^2} \times 100 (\%)$$

where

$D_0$  is the outside diameter of tube;

$D_1$  is the inside diameter of the cutting edge.

##### 8.2.3.3 A jig for holding the specimen tube or tubes securely on the sample tube while the sample is being extruded. The axis of each tube shall be maintained in visual alignment with the direction of extrusion.

##### 8.2.3.4 An extruder to suit the specimen tube, and to which it can be securely attached during extrusion.

NOTE. The same extruder as used with the sample tubes can usually be fitted with an adaptor to hold the specimen tube or tubes.

#### 8.2.4 Additional apparatus for 8.5

##### 8.2.4.1 Thin-walled tubes as described in 8.2.3 (for specimens to be formed in a tube).

##### 8.2.4.2 A jig for firmly holding the thin-walled specimen tube in alignment with its direction of movement as it is pushed into the block sample (for specimens to be formed in a tube).

**8.2.4.3** A soil lathe (for specimens to be hand trimmed).

**8.2.4.4** A mitre box.

**8.2.5** Additional apparatus for 8.6

**8.2.5.1** A metal cutter for holding or forming the test specimen, provided with a cutting edge. The cutter shall be circular or square in plan, depending on the type of test. Detailed requirements are given in the appropriate clause of this standard.

NOTE. The ring normally provided for containing a consolidation test specimen also serves as the cutting ring.

**8.2.5.2** A jack and frame suitable for extruding the soil vertically from the sampling tube.

**8.2.5.3** A jig for holding the circular or square cutter just above the top of the sampling tube. The jig shall be designed to allow the sample to pass through and project above the cutter. Alternatively a separate driving ring may be used for the same purpose.

**8.2.6** Additional apparatus for 8.7. A jig for firmly holding the plane of the cutter at right angles to its direction of movement as it is pushed into the block sample.

### **8.3 Preparation of cylindrical specimen direct from sampling tube**

**8.3.1 General.** When a specimen is to be prepared from an undisturbed sample contained in a tube of the same internal diameter as the test specimen the procedure shall be as follows. The sample shall normally be pushed out of the tube in the same direction as it entered. Remove the protective wax and any loose or disturbed material.

#### **8.3.2 Procedure**

**8.3.2.1** If the end of the protective coating, e.g. of wax, at the lower end of the sampling tube is reasonably flat and perpendicular to the axis of the tube, no initial preparation is necessary. Otherwise remove the protective coating and trim the end of the sample to achieve that condition.

**8.3.2.2** Place an oiled paper disc next to the sample, or lightly oil the face of the extruder ram, to prevent adhesion between the soil and the extruder.

**8.3.2.3** Fit the sampling tube on to the extruder and attach the split mould assembly.

**8.3.2.4** Extrude enough of the sample out of the tube to enable any loose and disturbed material to be cut away.

**8.3.2.5** Extrude the sample until the length required for testing is contained within the split mould.

NOTE. The least disturbed portion of the sample will normally be at the bottom end of the tube, i.e. the end nearest to the cutting shoe when the sample was taken.

**8.3.2.6** Cut off the surplus soil and trim the ends of the test specimen flat and flush with the ends of the split mould. Protect the ends from loss of moisture until the specimen is ready to be set up for the test.

**8.3.2.7** Wrap and seal the surplus extruded soil. Either extrude, wrap and seal any soil remaining in the sampling tube, or reseal it inside the tube.

### **8.4 Preparation of cylindrical specimen of smaller diameter than sampling tube**

**8.4.1 General.** This procedure applies to fine-grained cohesive soil which can be extruded into tubes with negligible disturbance.

The procedure shall be used when a specimen, or a set of (usually three) specimens, is to be obtained from an undisturbed sample of larger diameter than the test specimens. The method enables a set of specimens to be taken from one depth.

#### **8.4.2 Procedure**

**8.4.2.1** Fit the sampling tube on to the extruder. Extrude enough of the sample from the tube to enable any loose and disturbed material to be cut off, leaving the end of the remaining sample flat and flush with the end of the tube.

**8.4.2.2** Clamp the thin-walled specimen tube or tubes securely in the jig attached to the extruder with their cutting edges about 10 mm away from the end of the sample tube. The axis of the tubes shall be in alignment with the direction of extrusion.

**8.4.2.3** Extrude the sample directly into tubes, maintaining a uniform speed. As extrusion proceeds cut away excess soil from outside the tubes so that it does not impede the extrusion.

**8.4.2.4** Cut off the extruded soil, remove the specimen tubes from the jig and extrude the specimen from each tube as described in 8.3.

### **8.5 Preparation of cylindrical specimen from undisturbed block sample**

#### **8.5.1 Initial preparation**

NOTE 1. This procedure can also be used for trimming specimens from a cylindrical sample of larger diameter than the specimen.

NOTE 2. When a set of similar specimens of small diameter is required the specimens should all be taken from the same geological horizon wherever possible. The location and orientation of each specimen within the block sample should be recorded.

**8.5.1.1** Cut away about 10 mm from the outside of the block sample, and cut out an approximately rectangular prism of soil slightly larger than the final dimensions of the specimen. The orientation of the axis of the prism shall be appropriate for the test to be carried out, when necessary, and shall be recorded.

**8.5.1.2** Make the ends of the prism plane and parallel using the mitre box, or by carefully trimming and checking with a straight-edge and try-square on the glass plate.

**8.5.1.3** If a soil lathe is to be used, proceed as described in 8.5.2. If the specimen is to be formed in a tube with a cutting edge, proceed as described in 8.5.3 or 8.5.4.



### **8.5.2 Use of soil lathe**

**8.5.2.1** Place the specimen in a soil lathe and cut off the excess soil in thin layers. Rotate the specimen between each cut until a cylindrical specimen is produced. Take care to avoid disturbance due to torsional effects.

**8.5.2.2** Remove the specimen from the soil lathe. Cut to the required length and make the ends plane and normal to the specimen axis to within  $1/2^\circ$ .

### **8.5.3 Use of tube with cutting edge**

**8.5.3.1** Clamp the thin-walled tube firmly in a holding jig.

**8.5.3.2** Push the tube steadily into the soil, carefully trimming away most of the excess soil for a short distance in advance of the cutting edge. Ensure that the cutting edge itself always pares away the final sliver of excess material so that voids are not formed inside the tube. Maintain alignment of the axis of the tube with the direction of motion during this operation.

**8.5.3.3** When the tube contains a length of specimen slightly in excess of the required trimmed length, undercut the specimen so that the tube can be extracted.

**8.5.3.4** Remove the specimen from the tube and trim as described in 8.3.

### **8.5.4 Encapsulation**

**8.5.4.1 General.** With brittle soils for which the preceding methods are not practicable, the following method may be satisfactory. It can be used for an irregular lump of material as well as for a cylindrical or rectangular shape.

#### **8.5.4.2 Method**

**8.5.4.2.1** Cover the piece of soil with paraffin wax, or wrap with thin clinging film, to provide a waterproof coating.

**8.5.4.2.2** Place the sample in a container, e.g. a one-litre compaction mould, and surround it with a suitable plaster, e.g. cellulose filler, mixed with water to a workable paste, so that the sample is completely encapsulated. Alternatively, pack damp sand around the sample.

**8.5.4.2.3** Allow the plaster to set, but not to harden.

**8.5.4.2.4** Jack a sampling tube with a sharp cutting edge into the encapsulated sample with a continuous steady movement.

**8.5.4.2.5** Remove the sample from the tube and trim it as described in 8.3.

### **8.6 Preparation of disc or square specimen from sampling tube**

**8.6.1 General.** This procedure is used for preparing either a squat cylindrical specimen for a consolidation test or swelling test in an oedometer (see clause 3 or 4 of BS 1377 : Part 5 : 1990), or a square specimen for a direct shear test in the small shearbox apparatus (see clause 6 of Part 7 of this standard). The mould with a cutting edge into which the specimen is intruded is referred to as the cutting ring, whether it is circular or square.

### **8.6.2 Procedure**

**8.6.2.1** Fit the sampling tube onto the extruder. Extrude enough of the sample from the tube to enable any loose and disturbed material to be cut off, leaving the end of the remaining sample flat and flush with the end of the tube.

**8.6.2.2** Extrude a further short length, e.g. 20 mm to 30 mm, of the soil sample from the tube for examination, after removing the protective covering.

**8.6.2.3** Cut off and remove the extruded length of sample. Trim the end of the remaining sample flat and flush with the end of the tube.

**8.6.2.4** Secure the cutting ring rigidly in the jig and mount the assembly on the sample tube so that the cutting edge of the ring is 3 mm to 6 mm above the top of the tube.

**8.6.2.5** Extrude the sample steadily directly into the cutting ring until the top surface projects slightly above the ring. During this operation trim away the soil from the outside of the ring to reduce friction and to prevent obstruction.

**8.6.2.6** Cut off the sample in its ring a little below the cutting edge of the ring and remove the ring from the jig. With very soft soils take care to ensure that the specimen does not slide in, or fall out of, the ring.

**8.6.2.7** Cut off the soil projecting above the upper end of the ring and trim the surface flat and flush with the ring, checking with the reference straight-edge. Avoid excessive remoulding of the surface.

**8.6.2.8** Place the trimmed surface on the flat glass plate and trim the other surface flush with the cutting edge as described in 8.6.2.6. Ensure that no soil is left adhering to the outside of the ring.

**8.6.2.9** If during the above operation a small inclusion interferes with extrusion and trimming, remove it and fill the cavity with fine material from the parings.

### **8.7 Preparation of disc or square specimen from block sample**

**8.7.1 General.** This procedure is used for preparing a test specimen from an undisturbed sample received in the form of an excavated block, and may also be used for a sample that has been extruded from a sampling tube. The mould with a cutting edge into which the specimen is intruded is referred to as the cutting ring, whether it is circular or square.

#### **8.7.2 Procedure using a holding jig**

**8.7.2.1** Clamp the cutting ring firmly in the holding jig.

**8.7.2.2** Push the ring steadily into the soil, carefully trimming away most of the excess soil for a short distance in advance of the cutting edge. Ensure that the cutting edge itself always pares away the last sliver of excess soil so that voids are not formed inside the ring. Maintain the plane of the ring at right angles to the direction of motion during this operation.

**8.7.2.3** When the top surface of the specimen protrudes slightly above the ring, sever the soil slightly below the cutting edge so that the soil contained in the ring can be removed intact.

**8.7.2.4** Trim the specimen as described in **8.6.2.7** and **8.6.2.8**.

**8.7.2.5** If during the above operation a small inclusion interferes with extrusion and trimming, remove it and fill the cavity with fine material from the parings.

**8.7.3** *Procedure using a driving ring*

**8.7.3.1** Cut a roughly circular or square portion of soil from the sample of dimensions somewhat larger than the test specimen.

**8.7.3.2** Prepare two plane faces on the portion so that they are flat and parallel to each other and orientated in the direction required for the test.

**8.7.3.3** Place one prepared surface of the sample on the glass plate. Use the ring, placed on the exposed face, as a template while carefully trimming the edges of the sample. Push the ring down slowly and evenly without tilting, using a driving ring placed on top, allowing the cutting edge to pare away the last fraction of soil. Ensure that the specimen is a close fit in the ring with no voids against the inner surface. Push the ring down until the top surface of the specimen projects slightly above it.

**8.7.3.4** Remove the driving ring and trim the top and bottom surface of the specimen flat and flush with the ring as described in **8.6.2.7** and **8.6.2.8**.

**8.7.3.5** If a small inclusion interferes with the above trimming operations, remove it and fill the cavity with fine material from the parings.



## **Daftar Istilah Teknik**

## BAHASA INDONESIA

abu gunung api  
abutmen  
adhesi  
ahli geoteknik  
air bebas ion  
air bebas udara  
air tanah  
aksi pelengkungan  
alami, asli  
albit  
alinyemen  
aliran  
alkalinitas  
alofan  
aluvial  
aluvium  
amfibol  
analisis butiran  
analisis saringan  
angka pori  
anisotropi  
anortosit  
anotit  
antofilit  
arloji penunjuk  
atapulgite  
augit  
awal  
ayakan  
bahan tak terpakai  
baja nir karat, baja tahan karat  
baling laboratorium  
banjir rencana  
basal  
batas cair  
batas plastis  
batas susut  
batas-batas Atterberg  
batu pori  
batuan beku  
batuan induk  
batuan malihan  
batuan sedimen  
beban aksial  
beban batas  
beban lebih  
beban siklik  
beban tambahan  
benda uji  
berat isi  
berat jenis  
berbongkah  
bercelah  
berem

## ENGLISH

volcanic ash  
abutment  
adhesion  
geotechnical engineer  
deionized water  
deaired water  
groundwater  
arching action  
natural  
albite  
alignment  
flow  
alkalinity  
allophane  
alluvial  
alluvium  
amphibole  
grading analysis  
sieve analyses  
void ratio  
anisotropy  
anorthosite  
anorthite  
anthophyllite  
dial gauge  
attapulgit  
augite  
preliminary  
sieve  
waste material  
stainless steel  
laboratory vane  
design flood  
basalt  
liquid limit  
plastic limit  
shrinkage limit  
Atterberg limits  
porous stone  
igneous rock  
parent rock  
metamorphic rocks  
sedimentary rock  
axial load  
ultimate load  
overburden  
cyclic loading  
surcharge  
specimen  
unit weight  
specific gravity  
blocky  
fissured  
berm

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

## ENGLISH

berem pratibobot	<i>counterweight berm</i>
berem tekan	<i>pressure berm</i>
berlapis	<i>stratified</i>
berlensa	<i>lensed</i>
biotit	<i>biotite</i>
bor	<i>auger</i>
bor inti	<i>core drilling, core drill</i>
bor mesin	<i>rotary drilling machine</i>
bor tangan	<i>hand auger</i>
cair	<i>liquid</i>
ceklis	<i>checklist</i>
cetakan	<i>mold, mould</i>
cincin cetak konsolidasi	<i>consolidation ring</i>
cincin karet-O	<i>O-ring seal</i>
cincin pemotong, cincin pembentuk	<i>trimmer, cutting ring</i>
cincin pengukur beban	<i>proving ring</i>
contoh tanah	<i>soil sample</i>
contoh tanah blok	<i>block sample</i>
contoh tanah dipadatkan	<i>compacted sample</i>
contoh tanah inti	<i>core sample</i>
dasit	<i>dasite</i>
dataran banjir, bantaran banjir	<i>flood plain</i>
daya dukung	<i>bearing capacity</i>
deformasi, perubahan bentuk	<i>deformation</i>
degradasi	<i>degradation</i>
dekomposisi	<i>decomposition</i>
denah kunci, peta kunci	<i>key plan</i>
derajat kejenuhan	<i>degree of saturation</i>
desikasi	<i>desiccation</i>
desikator	<i>desiccator</i>
dilatansi	<i>dilatancy</i>
disipasi	<i>dissipation</i>
dolomit	<i>dolomite</i>
drainase	<i>drainage</i>
dukungan penuh	<i>full support</i>
dukungan setempat	<i>local support</i>
eksavator	<i>excavator</i>
ekstensometer batang	<i>rod extensometer</i>
ekstensometer magnetik	<i>magnetic extensometer</i>
ekstensometer penduga	<i>probe extensometer</i>
ekstruder	<i>extruder</i>
elevasi muka air	<i>water level</i>
eligosen	<i>eligocene</i>
endapan	<i>deposit</i>
endapan bawah air	<i>sub aquatic sediment</i>
endapan lakustrin	<i>lacustrine deposits</i>
eosen	<i>eocene</i>
fabrik	<i>fabric</i>
fayalit	<i>fayalite</i>
felspar	<i>feldspar</i>
fibrik	<i>fibric</i>
fibros, berserat	<i>fibrous</i>
firm	<i>firm</i>

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

## ENGLISH

fitur  
fondasi  
forsterit  
foto udara  
friksi kulit  
friksi, gesek  
galian dan timbunan  
gambut  
gambut amorfos  
gaya angkat  
gempa  
geogrid  
geosel  
geosintetis  
geotekstil  
getas  
gorong-gorong  
gradien hidrolik  
granitoid  
granodiorit  
grid, kisi-kisi  
gruting  
halloysit  
hambatan lekat  
hemik  
hipersten  
holosen  
homogen, homogenos  
ilit  
indeks  
indeks plastis  
indeks plastisitas  
indikator gelincir  
inklinasi  
inklinometer  
instrumentasi  
jaman jura  
jaman kuarter  
jejak drainase, lintasan drainase  
jenuh air  
jumlah hambatan lekat  
kadar air  
kadar air  
kadar organik  
kaji ulang  
kaldera  
kalsit  
kaolinit  
kapasitas aksial  
katup  
keaktifan lempung  
keasaman  
keawetan

*feature  
foundation  
forsterite  
aerial photograph  
skin friction  
friction  
cut and fill  
peat  
amorphous peat  
uplift  
earthquake  
geogrid  
geocells  
geosynthetics  
geotextile  
brittle  
box culvert  
hydraulic gradient  
granitoid  
granodiorite  
grid  
grouting  
halloysite  
sleeve friction  
hemic  
hyperstene  
holocene  
homogenous  
illite  
index  
plastic index  
plasticity index  
slip indicator  
inclination  
inclinometer  
instrumentation  
jurassic  
quaternary  
drainage path  
saturated  
total friction  
moisture content  
water content  
organic content  
review  
caldera  
calcite  
kaolinite  
axial capacity  
valve  
clay activity  
acidity  
durability*

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

## ENGLISH

kedalaman penuh  
kegambutan  
kekar  
kelanauan  
kelecakan, mudah diolah  
kelempungan  
kemiringan  
kenosoid  
kenosoik  
kepadatan  
kepadatan basah  
kepadatan curah  
kepadatan massa  
kepala tiang  
kepasiran  
kerak  
keras  
kerikil  
kering udara  
kohesi  
kohesif  
kolom batu  
kompresi, tekanan  
kompresibel  
kompresibilitas, kemampatan  
konglomerat  
konsistensi  
konsolidasi  
konstruksi  
konstruksi bertahap  
konus  
konus mantel  
koridor  
kraton  
kualitas contoh tanah  
kuari  
kuat geser  
kuat geser  
kuat geser puncak  
kuat tarik  
kuat tekan  
labu gelas  
laminar  
lanau  
lantai kerja  
lapangan  
lapangan  
lapangan, lokasi  
lapis fondasi bawah  
lapis tipis  
lapisan bawah  
lapisan bawah permukaan  
lapisan penyerap

*full depth*  
*peaty*  
*joint*  
*silty*  
*workability*  
*clayey*  
*gradient*  
*cenozooid*  
*cenozoic*  
*density*  
*wet density*  
*bulk density*  
*mass density*  
*pile cap*  
*sandy*  
*crust*  
*hard*  
*gravel*  
*air dry*  
*cohesion*  
*cohesive*  
*stone column*  
*compression*  
*compressible*  
*compressibility*  
*conglomerate*  
*consistency*  
*consolidation*  
*construction*  
*staged construction*  
*cone*  
*mantle cone*  
*corridor*  
*craton*  
*sample quality*  
*quarry*  
*shear strength*  
*strength*  
*ultimate shear strength*  
*tensile strength*  
*compressive strength*  
*picnometer*  
*laminar*  
*silt*  
*platform*  
*field*  
*insitu*  
*site*  
*sub base*  
*lamina*  
*substrata*  
*subsurface*  
*absorbed layer*

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

## ENGLISH

laporan singkat desain  
larutan supernatan  
lateral  
latit  
lempeng  
lempung  
lempung gemuk  
lempung kurus  
lempung marin  
lendutan  
letusan vulkanik  
likuiditas  
limonit  
lintasan tegangan  
lumpur pemboran  
mafik  
makrofabrik  
manual  
mata bor  
material induk  
material lolos air  
matras  
membran karet  
mesosoik, mesosoikum  
metode ekstraksi air  
metode gravimetrik  
metode lilin  
mika  
mikrofabrik  
miosen  
mistar perata  
modulus Young  
monmorilonit  
monsodiorit  
monsogabro  
monsonit  
muskovit  
neogen  
nontronit  
odometer  
oksidasi dikromat  
oligosen  
olivin  
olv in  
ombrogenos, ombrogenik  
oprit jembatan  
orogen  
ortoklas  
otogenesis  
paleogen  
paleosen  
paparan sunda  
parit

*design brief*  
*supernatent solution*  
*lateral*  
*latite*  
*plates*  
*clay*  
*fat clay*  
*lean clay*  
*marine clay*  
*deflection*  
*volcanic eruption*  
*liquidity*  
*limonite*  
*stress path*  
*drilling mud*  
*mafic*  
*macrofabric*  
*manual*  
*bit*  
*parent material*  
*free draining material*  
*mattress*  
*rubber membrane*  
*mesozoic*  
*water extract method*  
*gravimetric method*  
*wax method*  
*mica*  
*microfabric*  
*miocene*  
*straight edge*  
*Young modulus*  
*montmorillonite*  
*monzodiorite*  
*monzogabbro*  
*monsonite*  
*muscovite*  
*neogene*  
*nontronite*  
*oedometer*  
*dichromate oxidation*  
*oligocene*  
*olivine*  
*olvine*  
*ombrogenous*  
*bridge approach*  
*orogeny*  
*orthoclase*  
*authogenesis*  
*paleogene*  
*paleocene*  
*sunda shelf*  
*trench*

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

## ENGLISH

patok geser	<i>offset peg</i>
pekerjaan tanah	<i>earthwork</i>
pelapukan	<i>weathering</i>
pelat bertiang, kaki seribu	<i>piled slab</i>
pelat penurunan	<i>settlement plate</i>
pelepasan tegangan	<i>stress relief</i>
pelindihan	<i>leaching</i>
peluang, probabilitas	<i>probability</i>
pemancangan desak	<i>driven displacement</i>
pemantauan	<i>monitoring</i>
pembacaan awal	<i>initial reading</i>
pembentuk rongga	<i>void former</i>
pemberat	<i>weights</i>
pembobotan	<i>weighting</i>
pemboran putar	<i>rotary drilling</i>
pembusukan	<i>humification</i>
pemeraan	<i>plotting</i>
pemeriaan	<i>description</i>
pemeriaan tanah	<i>soil description</i>
penambahan beban	<i>surcharging</i>
penampang	<i>log</i>
penampangan	<i>logging</i>
penanda penurunan	<i>settlement marker</i>
penanda penurunan permukaan	<i>surface settlement marker</i>
penanganan contoh tanah	<i>sample handling</i>
pendebuan	<i>dusting</i>
pendugaan	<i>sounding</i>
penetrasi	<i>penetration</i>
penetrometer konus	<i>cone penetrometer</i>
pengambil contoh ber dinding tipis	<i>thin walled sampler</i>
pengambil contoh piston	<i>piston sampler</i>
pengambil contoh piston bebas	<i>free piston sampler</i>
pengambil contoh tekan	<i>push sampler</i>
pengambil contoh tumbuk	<i>drive sampler</i>
pengambil contoh tumbuk terbuka	<i>open drive sampler</i>
pengambilan contoh blok	<i>block sampling</i>
pengambilan contoh tanah	<i>sampling</i>
pengembangan	<i>swelling</i>
pengeringan	<i>dewatering</i>
penggantian	<i>replacement</i>
penggembungan	<i>heaving</i>
pengujian	<i>testing</i>
pengukur deformasi	<i>deformation gauge</i>
pengukur tekanan	<i>pressure gauge</i>
peninjauan lapangan	<i>reconnaissance</i>
pneumatik	<i>pneumatic</i>
penurunan	<i>settlement</i>
penurunan beda	<i>differential settlement</i>
penurunan segera	<i>immediate settlement</i>
penyalir	<i>drain</i>
penyalir alami	<i>natural drain</i>
penyalir horisontal	<i>horizontal drain</i>
penyalir pasir	<i>sand drain</i>

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

penyalir vertikal  
penyelidikan  
penyelidikan lapangan  
penyelidikan tanah  
perawatan  
perbaikan tanah  
perbaikan tanah  
periode ulang  
perkuatan  
perlapisan  
permeabilitas  
permeameter yang membor sendiri  
perpindahan  
perpindahan tanah vertikal  
persiapan basah  
persiapan kering  
peta geologi  
peta topografi  
pipa lindung  
pipa penghantar  
pipa ukur tegak  
pirofilit  
piroksen  
pisometer  
piston tetap  
plagioklas  
planar  
pleistosen  
pliosen  
porositas  
prakonsolidasi  
pressuremeter bor  
punggungan bukit  
rangkai  
rasio friksi  
rasio pemulihan, angka pemulihan  
rasio Poisson  
rasio susut  
rawa bakau  
rawa hulu  
regangan  
regangan aksial  
rekompresi  
remasan  
rembesan  
rencana, denah  
resen  
residual  
retakan sineresis  
riolit  
rongga udara  
salinitas  
sampel, contoh tanah

## ENGLISH

vertical drain  
investigation  
site investigation  
ground investigation  
curing  
ground improvement  
ground treatment  
return period  
reinforcement  
layering  
permeability  
self boring permeameter  
displacement  
vertical earth displacement  
wet preparation  
dry preparation  
geological map  
topographical map  
casing  
access tube  
standpipe  
pyrophyllite  
pyroxene  
piezometer  
fixed piston  
plagioclase  
planar  
pleistocene  
pliocene  
porosity  
preconsolidation  
self boring pressure meter  
ridge  
creep  
friction ratio  
recovery ratio  
Poisson ratio  
shrinkage ratio  
mangrove swamp  
back marsh  
strain  
axial strain  
recompression  
remoulded  
seepage  
plan  
recent  
residual  
syneresis crack  
rhyolite  
void  
salinity  
sample



## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

saprik  
sedimentasi, pengendapan  
segregasi  
sel beban  
sel hidrolik  
selang ganda  
selimut pasir  
selongsong gesek  
senit  
sensitivitas  
serat  
serpentin  
sesar  
sifat teknik tanah  
siklus logaritmik  
skuising  
soket, penyambung pipa  
sondir  
spatula  
spesialis geoteknik  
stabilitas  
stif  
strata  
stratifikasi  
stratigrafi  
struktur teknis  
struktur terdispersi  
struktur terflokulasi  
studi kelayakan  
studi meja  
subduksi  
sudut geser dalam  
suhu pijar  
sumur uji  
surut  
suspensi  
susut  
tabung penginti tipis  
tabung penginti, penginti  
tahanan konus  
tahanan kulit  
tak berkelangsungan  
tak dapat terbakar  
tak jenuh  
tak terdesak  
tak terdrainase  
tak terkonsolidasi  
tanah bawah permukaan  
tanah dasar  
tanah lunak  
tanah mineral or ganik  
tanah residual  
tanggul

## ENGLISH

sapric  
sedimentation  
segregation  
load cell  
hydraulic cell  
twin tubing  
sand blanket  
friction sleeve  
syenite  
sensitivity  
fibre  
serpentine  
fault  
engineering soil properties  
log cycle  
squeezing  
coupling  
Dutch Cone Test  
spatula  
geotechnical specialist  
stability  
stiff  
stratum  
stratification  
stratigraphy  
engineering structure  
dispersed structure  
floculated structure  
feasibility study  
desk study  
subducts  
internal friction angle  
ignition temperature  
test pit  
draw down  
suspension  
shrinkage  
thinwall tube  
core barrel  
cone resistance  
skin resistance  
non sustainable  
incombustible  
unsaturated  
non displacement  
undrained  
unconsolidated  
subsoil  
sub grade  
soft soil  
organo-mineral soil  
residual soil  
levee

## BAHASA INDONESIA (lanjutan)

tata letak  
tegangan  
tegangan deviator  
tegangan geser  
tegangan prinsipal  
tegangan total  
tekanan air pori  
tekanan balik  
tekanan ke atas  
tekanan kekang  
tekanan pori berlebih  
terangkut  
terdrainase  
terganggu  
terkonsolidasi  
terkonsolidasi tak terdrainase  
terkonsolidasi terdrainase  
terkonsolidasi-kurang  
terkonsolidasi-lebih  
terlaminasi  
terlipat  
tiang pancang bor  
timbunan  
timbunan bertiang  
timbunan percobaan  
tinggi tekan tetap  
tinggi tekan turun  
titik penyelidikan  
titik tetap, patok tetap  
topogenos  
torsi  
tracit  
transduser  
tremolil  
triaksial  
triaksial CD  
triaksial CU  
triaksial UU  
triasik  
turap baja  
tutup pipa, tutup ujung  
uji  
uji baling lapangan  
uji dilatometer datar  
uji geser baling  
uji geser langsung  
uji hilang pijar  
uji konsolidasi  
uji pembebanan  
uji penetrasi konus  
uji penetrasi standar  
uji pressuremeter  
uji tekan

## ENGLISH

layout  
stress  
deviator stress  
shear stress  
principal stress  
total stress  
pore water pressure  
back pressure  
uplift pressure  
confining pressure  
excess pore pressure  
transported  
drained  
disturbed  
consolidated  
consolidated undrained, CU  
consolidated drained, CD  
under consolidated  
overconsolidated  
laminated  
folded  
bored pile  
embankment  
piled embankment  
trial embankment  
constant head  
falling head  
exploratory point  
benchmark  
topogenous  
torque  
trachyte  
transducer  
tremolite  
triaxial  
triaxial CD  
triaxial CU  
triaxial UU  
triassic  
sheet pile  
end cap  
test  
field vane test  
flat dilatometer test  
vane shear test  
direct shear test  
loss on ignition test  
consolidation test  
loading test  
cone penetration test  
standard penetration test  
pressuremeter test  
compression test

## **BAHASA INDONESIA** (lanjutan)

uji tekan bebas  
ujung bertekanan udara tinggi  
unit tanah  
variasi litologi  
vermikulit  
wadah contoh tanah  
zona  
zonasi

## **ENGLISH**

*unconfined compression test*  
*high air entry tip*  
*soil unit*  
*lithological variation*  
*vermiculite*  
*sample container*  
*zone*  
*zoning*

SALINAN

## Peserta dan Ucapan Terima Kasih

Penyiapan Panduan Geoteknik ini dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Bandung melalui Kontrak Proyek Tahap 2 *Indonesian Geotechnical Materials and Construction Guides*.

Pekerjaan tersebut dilaksanakan antara bulan Nopember 1999 dan April 2002.

Tim Pusat Litbang Prasarana Transportasi:

Dr. Ir. Hedy Rahadian, MSc., Ir. GJW Fernandez, Dayat, B.E.,  
Lanalyawati, B.E., Iyus Rusmana, B.E., Drs. Bambang Purwadi,  
Ir. Saroso B.S., Ir. Suhaimi Daud, Drs. Suherman, Ir. Benny  
Moestofa, Ir. Rudy Febrijanto, M.T., Ir. Deddi Soettedi, Rakhman  
Taufik, S.T., Ir. Djoko Oetomo, Dian Asri, S.T., Slamet Prabudi,  
S.T., Endang Suwanda, Ahmad Rusdi, Ir. Haliema Armela, Irdam  
Buyung Adik, Wachjoe Poernama, Sumarno, Silvester Fransisko,  
Ahmad Jaenudin, Hartiti Rochkyatun, Yayah Rokayah, Maman  
Suherman, Purbo Santoso, Wagiman, Deni Hidayat.

Konsultan Proyek terdiri atas WSP International bekerjasama dengan PT Virama Karya dan PT Trikarla Cipta

Staf Konsultan:

Michael Ellis, Alan Rachlan, MSc., Jeremy Burton,  
Dr. Jim McElvaney, Tony Barry, Ir. Suprpto,  
Ir. A. E. Sulistiadi, Ir. Tata Peryoga, M.T., Ir. Budi Satriyo,  
Sugeng Parwoto, Susilowati, Renny Susanty.

Pengkaji eksternal Panduan Geoteknik, oleh:

Abdul Aziz Djajaputra, Prof. Dr. Ir.	(ITB – Bandung)
Agus Darmawan, Dr. Ir.	(UGM – Yogyakarta)
Agita W., Ir. MSc.	(Bintek – Jakarta)
Bigman Hutapea, Dr. Ir.	(HATTI – Bandung)
Damrizal Damoerin, Ir. MSc.	(UI – Jakarta)
Deliana, Ir.	(Bintek SDA – Jakarta)
Enny, Ir.	(Set Balitbang – Jakarta)
Gogot S. Budi, Dr. Ir.	(Univ. Kristen Petra – Surabaya)
Irawan Firmansyah, Ir. MSCE.	(PT Wiratman Ass – Jakarta)
Jawali Marbun, Dr. Ir.	(Dept. Kimpraswil – Jakarta)
Kabul Basah S., Dr. Ir.	(UGM – Yogyakarta)
Khaidir A. Makarim, Dr. Ir.	(HATTI – Jakarta)
Masyhur Irsyam, Dr. Ir.	(ITB – Bandung)
Paulus P Rahardjo, Prof. Dr. Ir.	(UNPAR – Bandung)
Richard Langford Johnson	(Proyek PMU SURIP)
Sudaryono, M.M. Dr. Ir.	(HPJI – Jakarta)
Tatang Sutardjo, Ir. MEng.	(Puslitbang Pengairan – Bandung)
Yayan Suryana, Ir., MSc.	(Bintek – Jakarta)
Yun Yunus Kusumahbrata, Dr. Ir.	(Puslitbang Geologi – Bandung)

Para penyusun Panduan ingin menyampaikan ucapan terima kasih atas dukungan yang telah diberikan oleh:

Ir. Frankie Tayu, dan Ir. Hendro Ryanb, MengSc. (alm)	Mantan Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi
Dr. Ir. Syahdanulirwan, MSc.	Kepala Pusat Litbang Prasarana Transportasi
Dr. Ir. Hikmat Iskandar,	Kepala Bidang Tata Operasional, Pusat Litbang Prasarana Transportasi

Dan Bambang Dwiyanto, M.Sc. Kepala Puslitbang Geologi atas dukungan serta ijin penggunaan peta geologi Indonesia.

SALINAN

**Informasi Hubungi:**

**Pusat Litbang Prasarana Transportasi**

**JI Raya Timur 264**

**Bandung 40294**

**Indonesia**

**Telp +62 (0)22 7802251-3**

**Email [pusjal@melsa.net.id](mailto:pusjal@melsa.net.id)**