

**Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B**

---

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

**Panduan Geoteknik 1**  
**Proses Pembentukan dan**  
**Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak**

Edisi Pertama Bahasa Indonesia © Juli 2002

**WSP International**

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

# 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.

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).

## **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 perencana 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 cooperation 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 Perakayasa 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 I .....	1
1.1	Batasan dari Panduan .....	1
1.2	Definisi Tanah Lunak .....	3
2	Geologi Indonesia .....	6
2.1	Geologi Umum .....	6
2.2	Perubahan Iklim dan Permukaan Air Laut .....	9
2.3	Bentang Alam Perioda Kwartar di Indonesia .....	11
3	Formasi Tanah .....	14
3.1	Asal Usul Tanah .....	14
3.1.1	Pendahuluan .....	14
3.1.2	Klasifikasi Batuan .....	15
3.1.3	Mineral Pembentuk Batuan .....	16
3.1.4	Mineral Lempung .....	17
3.1.5	Sistem Lempung-Air .....	24
3.1.6	Fabrik .....	26
3.1.7	Sifat Teknik Yang Signifikan .....	26
3.1.8	Pelapukan .....	30
3.1.9	Hasil Proses Pelapukan .....	34
3.2	Pembentukan Gambut .....	36
3.2.1	Gambut di Indonesia .....	41
4	Klasifikasi Tanah Lunak .....	45
4.1	Pendahuluan .....	45
4.2	Klasifikasi Tanah Lunak .....	45
4.2.1	Tanah Inorganik Berbutir Halus .....	46
4.2.2	Tanah Organik .....	47
4.2.3	Gambut .....	47
5	Sifat Geoteknik Lempung .....	51
5.1	Pendahuluan .....	51
5.2	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Prilaku Lempung .....	52
5.2.1	Pendahuluan .....	52
5.2.2	Kadar Organik .....	52
5.2.3	Pemadatan Gravitasi .....	53
5.2.4	Desikasi (Pengeringan) .....	55
5.2.5	Pelapukan Kimiawi .....	56
5.2.6	Sementasi .....	57
5.2.7	Pelindihan Air Tawar .....	58

5.3	Kondisi di Asia Tenggara.....	63
5.4	Karakteristik Lokasi .....	68
6	Sifat-sifat Geoteknik Gambut.....	69
6.1	Pendahuluan.....	69
6.2	Faktor yang Mempengaruhi Prilaku Gambut.....	69
6.3	Karakterisasi Gambut.....	74
6.3.1	Distribusi Penyebaran Gambut .....	74
6.3.2	Karakterisasi Daerah Gambut yang Dikembangkan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi .....	76
7	Petunjuk Awal Adanya Tanah Lunak.....	78
8	Referensi.....	82

Lampiran:

- A Daftar Isi dari CD Panduan Geoteknik
- B Karakterisasi Lokasi dari Lempung Lunak

Gambar:

Gambar 1-1	Lokasi Tanah Lunak di Indonesia .....	5
Gambar 2-1	Skala Waktu Geologi .....	6
Gambar 2-2	Fitur Neotektonik Kepulauan Indonesia.....	7
Gambar 2-3	Interpretasi Penampang Geologi Jalur Orogen Neogen di Indonesia .....	8
Gambar 2-4	Rekonstruksi Paleografis Umum Daerah Sunda-Sahul Selama Salah Satu Jaman Es Maksimum pada Periode Kwarter.....	10
Gambar 2-5	Paparan Sunda Selama Jaman Es Terakhir Sekitar 12000 Tahun Lalu .....	10
Gambar 2-6	Perubahan Muka Air Laut Rata-rata pada Masa Holosen sebagai bagian dari Dataran Pantai Malaysia Barat (Kedah) dan Indonesia (Provinsi Kalimantan Barat dan Sumatera : Provinsi Riau dan Jambi) .....	11
Gambar 2-7	Distribusi Jenis Tanah Vulkanik Residual di Jawa .....	12

Gambar 2-8	Tanah Lunak Jakarta .....	13
Gambar 3-1	Fitur utama Mineral Lempung Utama .....	19
Gambar 3-2	Perbandingan Partikel Kaolinit dan Halloysit .....	20
Gambar 3-3	Struktur Sebuah Mineral Selang – seling .....	21
Gambar 3-4	Pengaruh Suhu pada Mineral-mineral Lempung.....	22
Gambar 3-5	Molekul-molekul Air pada Pertemuan Lempung.....	25
Gambar 3-6	Lapisan Air pada Sebuah Partikel Monmorilonit.....	25
Gambar 3-7	Tipe-tipe Struktur Microfabrik Lempung.....	26
Gambar 3-8	Batas Atterberg Kaolinit dan Halloysit .....	28
Gambar 3-9	Batas Cair Ilit dan Monmorilonit .....	28
Gambar 3-10	Batas Cair Kalsium dan Natrium Monmorilonit .....	28
Gambar 3-11	Prilaku Pengembangan beberapa Mineral Lempung.....	30
Gambar 3-12	Proses Pelapukan Kimia.....	31
Gambar 3-13	Diagram Pelarutan.....	32
Gambar 3-14	Pembentukan Lempung-lempung Merah dan Hitam .....	33
Gambar 3-15	Transportasi Tanah dan Pengendapan.....	35
Gambar 3-16	Skema Pembentukan Dataran Pantai yang Tertutup oleh Gambut.....	37
Gambar 3-17	Profil Sungai dan Dataran Banjir yang Dipisahkan oleh Tanggul Alam.....	37
Gambar 3-18	Daerah danau atau rawa .....	38
Gambar 3-19	Pembentukan Lingkungan Sungai yang Terdiri dari Berbagai Jenis Gambut.....	39
Gambar 3-20	Keberadaan Gambut Dataran Rendah pada Dua Lingkungan Fisiografis yang Berbeda.....	40
Gambar 3-21	Hipotesa Pembentukan Suatu Rawa-rawa Gambut.....	41
Gambar 3-22	Jenis-jenis Gambut pada Sebagian Kalimantan Tengah .....	42

Gambar 3-23	Kedalaman gambut di Kalimantan .....	43
Gambar 3-24	Rantai Vegetasi Lembah Sungai Negara .....	44
Gambar 4-1	Batas-batas Atterberg untuk Tanah Organik dan Inorganik	46
Gambar 4-2	Klasifikasi Tanah untuk Lempung Inorganik, Lempung Organik dan Gambut.....	47
Gambar 4-3	Sistem Klasifikasi Tanah Lunak.....	48
Gambar 5-1	Diagram yang Menggambarkan Lempung Terkonsolidasi Normal dan Lempung Terkonsolidasi Lebih.....	53
Gambar 5-2	Korelasi antara Kadar Air dan Fraksi Lempung pada Lingkungan Pengendapan yang Berbeda .....	54
Gambar 5-3	Distribusi Tipikal dari Tekanan Total, Tekanan Pori dan Tekanan Beban Lebih yang bekerja pada Endapan Lempung Lunak.....	55
Gambar 5-4	Pengaruh Pelapukan terhadap Kuat Geser dan Kompresibilitas dari Lempung Terkonsolidasi Normal .....	57
Gambar 5-5	Variasi dari Kadar Garam pada Lempung Lunak Bangkok terhadap Kedalaman untuk beberapa Jarak terhadap Garis Pantai yang Berbeda.....	59
Gambar 5-6	Variasi Rasio Kuat Geser dengan Plastisitas untuk Lempung Marin dan Lempung danau Glasial yang Terkonsolidasi Normal dan Taktersementasi .....	60
Gambar 5-7	Pengaruh Pelindihan terhadap Tingkat Keaktifan dari Lempung Norwegia.....	60
Gambar 5-8	Pengaruh dari Pelindihan terhadap Sensitivitas dari Lempung Norwegia dan Lempung Bangkok .....	61
Gambar 5-9	Pengaruh dari Proses Pelindihan pada Kuat Geser dan Kompresibilitas .....	62
Gambar 5-10	Grafik Plastisitas untuk Lempung Resen di Asia Tenggara .....	64
Gambar 5-11	Tingkat Keaktifan dari Lempung Resen di Asia Tenggara	65
Gambar 6-1	Hubungan antara Pengujian Indeks terhadap Kadar Organik .....	70
Gambar 6-2	Data Uji Oedometer dari Berengbengkel .....	71

Gambar B-18 Potongan Geologi Kwartir Kaliwungu Bagian Timur .....	B17
Gambar B-19 Batas-batas Atterberg untuk Lempung di Daerah Semarang .....	B21
Gambar B-20 Batas Cair Lempung Demak .....	B21
Gambar B-21 Berat Jenis di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu	
Gambar B-22 Hasil Batas Cair pada Lokasi Timbunan Percobaan Kaliwungu .....	B23
Gambar B-23 Batas-batas Atterberg dari Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B23
Gambar B-24 Kandungan Organik di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B24
Gambar B-25 Tingkat Keaktifan Lempung di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B25
Gambar B-26 Hubungan $cu/p$ untuk beberapa Lempung.....	B26
Gambar B-27 Kuat Geser di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .	B27
Gambar B-28 Kuat Geser Baling-baling Remasan di Kaliwungu .....	B27
Gambar B-29 Sensitivitas dari Uji Geser Baling-baling .....	B28
Gambar B-30 Nilai Kuat Geser pada Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B29
Gambar B-31 Perbandingan Uji Kuat Geser di Lokasi Timbunan Percobaan Kaliwungu .....	B30
Gambar B-32 Parameter Kuat Geser Efektif di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B30
Gambar B-33 Kuat Geser Tak Terdrainase yang Dibandingkan .....	B31
Gambar B-34 Tegangan Vertikal Efektif dan Tekanan Pra Konsolidasi di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu .....	B32
Gambar B-35 Hubungan Antara Laju Pengendapan dan Derajat Konsolidasi .....	B33
Gambar B-36 Kadar Air Prediksi dan Sesungguhnya.....	B34
Gambar B-37 Rasio antara Kadar Air Prediksi dan Sesungguhnya.....	B34

Gambar B-38 Rasio Terkonsolidasi Lebih dari Uji Konsolidasi Odometer .....	B35
Gambar B-39 Konsolidasi Lebih dari Uji Konsolidasi Odometer .....	B36
Gambar B-40 pH dari Lempung Holosen .....	B34

Tabel:

Tabel 3-1 Klasifikasi Batuan Beku .....	15
Tabel 3-2 Klasifikasi Batuan Malihan .....	16
Tabel 3-3 Klasifikasi Batuan Malihan .....	16
Tabel 3-4 Senyawa Kimia beberapa Mineral Penting .....	17
Tabel 3-5 Berat Jenis beberapa Mineral .....	22
Tabel 3-6 Plastisitas Mineral Lempung .....	27
Tabel 3-7 Tingkat Keaktifan Lempung.....	29
Tabel 3-8 Tingkat Keaktifan berbagai Jenis Lempung.....	29
Tabel 3-9 Permeabilitas Relatif Mineral Lempung Utama .....	30
Tabel 3-10 Kesimpulan Komunitas Urutan Tipe-tipe pada Gambut Rawa di Serawak .....	43
Tabel 4-1 Klasifikasi Tanah berdasarkan Kadar Organiknya.....	46
Tabel 4-2 Konsistensi Tanah Lempung .....	46
Tabel 4-3 Klasifikasi Tanah Gambut berdasarkan Kadar Serat.....	47
Tabel 4-4 Sistem Klasifikasi Von Post .....	49
Tabel 4-5 Klasifikasi Gambut berdasarkan Tingkat Kebasahan atau Kandungan Air .....	50
Tabel 4-6 Klasifikasi Gambut berdasarkan Kadar Serat.....	50
Tabel 4-7 Klasifikasi Gambut berdasarkan Kandungan Kayu.....	50
Tabel 5-1 Pengaruh Proses Pasca Pengendapan pada Sifat-sifat Lempung .....	51



Tabel 5-2	Klasifikasi Lempung Lunak .....	56
Tabel 5-3	Beberapa Data dari Lempung Norwegia dan Kanada .....	61
Tabel 6-1	Permeabilitas dari Gambut .....	74
Tabel 6-2	Daerah Gambut di Beberapa Propinsi di Indonesia.....	75
Tabel 6-3	Distribusi Sebaran Gambut di Indonesia .....	75
Tabel 7-1	Penentuan Kondisi Tanah berdasarkan Topografi dan Peta Geologi Regional.....	80
Tabel B-1	Mineralogi Lempung dari Contoh Lempung Bandung .....	B1
Tabel B-2	Stratigrafi Endapan Pantai Utara Jawa Barat .....	B6
Tabel B-3	Analisis Mineralogi Lempung Jakarta.....	B7
Tabel B-4	Penampang Fabrik pada Lubang Bor di Kaliwungu .....	B19

# 1

## Pendahuluan Panduan Geoteknik 1

### 1.1

#### BATASAN DARI PANDUAN

Tanah lunak yang diuraikan pada Panduan ini terdiri dari dua tipe, yang didasarkan atas bahan pembentuknya:

- tanah inorganik yang berasal dari pelapukan batuan yang diikuti oleh transportasi dan proses-proses lainnya,
- gambut yang berasal dari bahan tumbuh-tumbuhan yang mengalami berbagai tingkat pembusukan.

Tanah organik merupakan kombinasi tanah inorganik dan gambut atau bahan organik lainnya.

Panduan Geoteknik 1 menjelaskan proses pembentukan batuan, pelapukan dan pembentukan mineral lempung. Pengaruh dari lingkungan pengendapan yang berbeda dan proses-proses yang mengikutinya juga diterangkan.

Proses pembentukan gambut dan tanah organik didiskusikan, tetapi untuk tinjauan yang lebih luas mengenai tanah tersebut pembaca dipersilakan merujuk ke *Manual Konstruksi Jalan di atas Gambut dan Tanah Organik (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2001)*.

Panduan Geoteknik 1 juga menjelaskan bagaimana caranya memprediksi keberadaan tanah lunak dari informasi yang terbatas.

Rujukan ini merupakan pengantar terhadap panduan yang lebih detil dan spesifik yang akan diberikan pada Panduan Geoteknik 2 sampai 4, yang memuat penyelidikan, desain dan konstruksi timbunan jalan pada tanah lunak tersebut.

## Apakah panduan ini relevan untuk Ahli Geoteknik?

Untuk mendesain konstruksi jalan di atas tanah lunak para Ahli Geoteknik hanya perlu menganalisis stabilitas, yang membutuhkan pengetahuan mengenai kuat geser, dan penurunan, yang memerlukan pengetahuan mengenai perilaku konsolidasi. Persyaratan ketiga yang diperlukan adalah pengetahuan yang cukup mengenai kimia tanah untuk memprediksi potensi korosi terhadap bahan bangunan untuk konstruksi.

Oleh karena itu dipandang perlu untuk mengetahui asal usul geologi dan faktor-faktor lainnya yang berkaitan dengan tanah lunak yang ada relevansinya dengan panduan ini.

Saat ini rekayasa geoteknik meliputi pengambilan contoh tanah yang relatif sangat kecil dibandingkan dengan massa tanah keseluruhan. Hal ini membutuhkan ekstrapolasi atas hasil pengujian untuk memperkirakan perilaku struktur dalam waktu yang lama.

Pemahaman terhadap bagaimana suatu deposit tanah terbentuk, dan proses apa yang telah dilaluinya, akan membantu dalam memahami perilaku teknis tanah yang selanjutnya membantu dalam membuat analisis yang lebih akurat.

Dua contoh berikut ini menggambarkan manfaatnya:

"lempung pasiran coklat". Pemerian dari suatu catatan lubang bor ini mungkin akan menggiring seorang Ahli untuk mengambil kesimpulan bahwa tanah lempung ini berasal dari proses pelapukan dalam lingkungan teroksidasi sehingga menghasilkan warna coklat, yang ditinjau dari kekuatan tanah akan menguntungkan. Adanya pasir juga mengindikasikan bahwa penurunan akan berlangsung cepat akibat permeabilitasnya yang tinggi.

Tetapi suatu studi mengenai sejarah geologi lokal akan memperlihatkan bahwa deposit ini merupakan lempung marin (lempung marin resin dari daerah pantai Utara Jawa). Warna coklat disebabkan oleh pelapukan debu vulkanis dan bukan akibat oksidasi, dan partikel berukuran pasir adalah koral. Kesimpulan sebelumnya (berdasarkan penampang lubang bor yang buruk dan ketidaktahuan terhadap lingkungan pengendapan) ternyata tidak tepat dan bisa mengakibatkan suatu desain yang tidak tepat.

"lempung dengan kerikil". Pemerian seperti ini pada suatu penampang lubang bor menyebabkan kebingungan karena lempung dan kerikil seharusnya tidak dijumpai tercampur pada suatu endapan alami. Apakah kerikil ini merupakan suatu lapisan yang tipis dan terendap selama periode iklim berbeda? Jika begitu mengapa tidak ditemui pasir?

Dalam hal ini, kerikil tidak teridentifikasi secara benar sebagai kerikil koral, dan ini merupakan suatu endapan lempung marin berumur Pleistosen. Bila hal ini diketahui, sifat tanah bisa diprediksi dengan lebih tepat, dan mungkin bisa dihubungkan dengan sifat-sifat endapan yang sama di tempat lainnya pada daerah tersebut.

## 1.2

## DEFINISI TANAH LUNAK

Dalam Panduan Geoteknik ini penggunaan istilah “tanah lunak” berkaitan dengan

*tanah-tanah yang jika tidak dikenali dan diselidiki secara seksama dapat menyebabkan masalah ketidakstabilan dan penurunan jangka panjang yang tidak dapat ditolerir; tanah tersebut mempunyai kuat geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi.*

Panduan Geoteknik digunakan untuk timbunan dengan ketinggian normal. Timbunan yang lebih tinggi masih memerlukan perhatian dan analisis terhadap stabilitas dan penurunan, termasuk tanah lunak.

Tanah lunak dibagi dalam dua tipe: lempung lunak, dan gambut.

### Lempung Lunak

Tanah jenis ini mengandung mineral lempung dan mengandung kadar air yang tinggi, yang menyebabkan kuat geser yang rendah.

Dalam rekayasa geoteknik istilah 'lunak' dan 'sangat lunak' khusus didefinisikan untuk lempung dengan kuat geser seperti ditunjukkan pada Tabel 1-1.

Tabel 1-1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser kN/m <sup>2</sup>
Lunak	12.5 – 25
Sangat Lunak	< 12.5

Sebagai indikasi dari kekuatan lempung tersebut, prosedur identifikasi lapangan pada Tabel 1-2 memberikan beberapa petunjuk.

Tabel 1-2 Indikator Kuat Geser Tak Terdrainase Tanah Lempung Lunak

Konsistensi	Indikasi Lapangan
Lunak	Bisa dibentuk dengan mudah dengan jari tangan
Sangat Lunak	Keluar di antara jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan

## Gambut

Suatu tanah yang pembentuk utamanya terdiri dari sisa-sisa tumbuhan.

Tipe tanah yang ketiga yaitu, lempung organik, adalah suatu material campuran antara lempung dan gambut, tergantung pada jenis dan kuantitas sisa-sisa tumbuhan, tanah organik bisa berperilaku seperti lempung atau gambut.

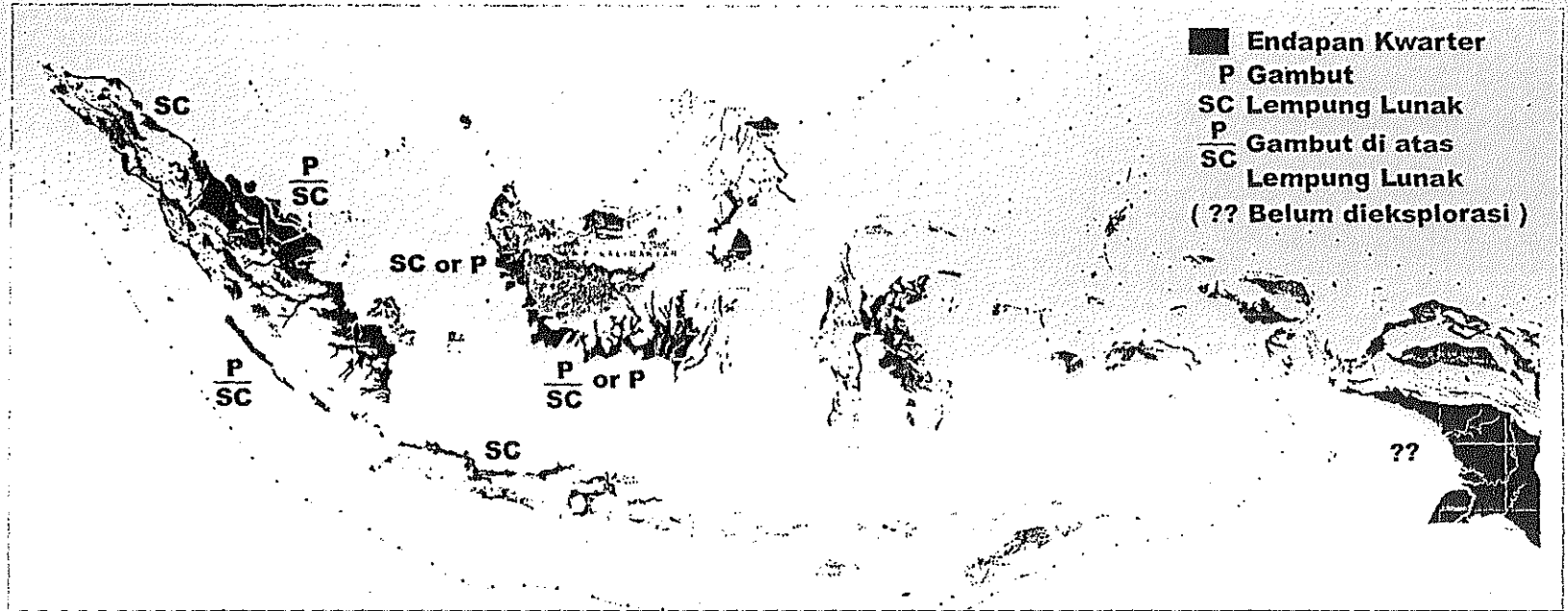
Dalam rekayasa geoteknik, klasifikasi ketiga tipe tanah tersebut dibedakan berdasarkan kadar organiknya, sebagai berikut :

Tabel 1-3 Tipe Tanah berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik %
Lempung	<25
Lempung Organik	25-75
Gambut	>75

Pada dasarnya semua jenis tanah tersebut adalah "berumur resen" dalam istilah geologi, yaitu berumur kurang dari 10.000 tahun. Periode geologi ini juga biasa dikenal sebagai Holosen. Penyebaran endapan ini bisa dilihat pada Gambar 1-1. Pada gambar tersebut endapan Kwartar termasuk juga endapan aluvial yang berbutir kasar, akan tetapi sebagian besar daerah yang ditunjukkan terdiri dari tanah lunak.

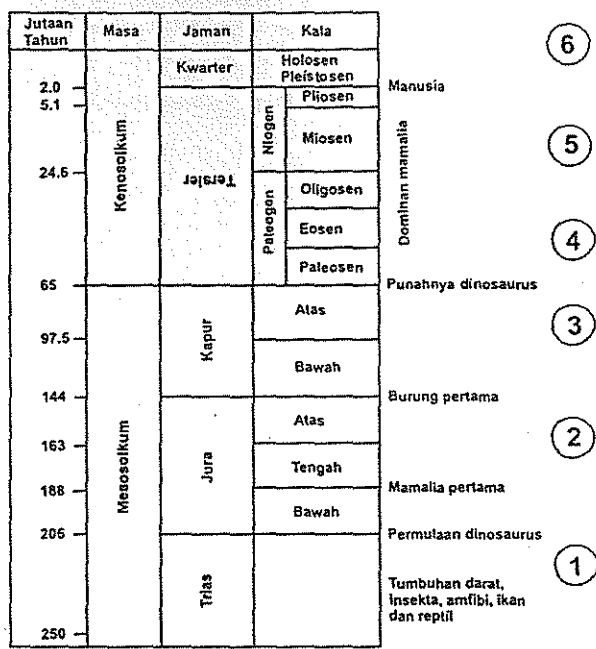
Gambar 1-1 Lokasi Tanah Lunak di Indonesia



2.1

GEOLOGI UMUM

Sejarah pembentukan bumi dan peristiwa yang menyertainya ditunjukkan pada Gambar 2-1.



1. Pemisahan paparan Laurasia dan paparan Gondwana
2. Asia tenggara dan Kepulauan Indonesia lepas dari paparan Gondwana
3. Australia dan Papua berpisah dari benua Antartika dan menggeser ke arah utara
4. Borneo utara dan Kalimantan selatan menyatu
5. Pembentukan plato dan kegiatan vulkanik mulai terbentuk di kepulauan Indonesia
6. Periode penurunan muka air laut dan pembentukan pulau-pulau pada paparan Sunda

Gambar 2-1 Skala Waktu Geologi (menurut MacKinnon dkk., 1996)

Bumi terdiri dari lapisan kerak bumi dan inti yang cair. Ada dua jenis lapisan kerak bumi : samudra dan kontinen.

Kerak samudra lautan biasanya berumur kurang dari 200 juta tahun. Ketebalannya 5-15 km dan terdiri dari batuan gabro dan sedimen pelagos. Kerak kontinen biasanya memiliki inti batuan berumur sampai 3500 juta tahun yang lebih tebal (20-50 km) dan kurang padat dibandingkan kerak samudra.

Kerak bumi terbentuk dari serangkaian lempeng yang terpisah yang mengapung pada bahan cair pembentuk inti yang terdapat di bawahnya.

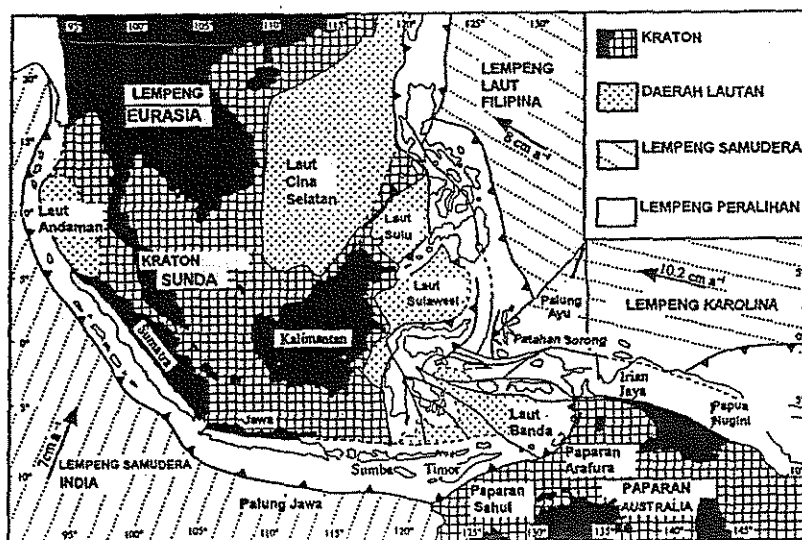
Arus berpusar yang bergolak ke atas di dalam suatu planet yang intinya berbentuk cairan batuan mengangkat lempeng kontinen dan samudra, menimbulkan zona yang lemah serta gangguan di permukaan. Jika dua lempeng bergerak saling menjauh, batuan cair mengalir ke atas mengisi celah. Jika dua lempeng bertabrakan, satu akan menunjam ke bawah lempeng yang lain, atau disebut subduksi. Aktivitas ini, disebut sebagai tektonik lempeng, pembentukan palung yang dalam dan deretan gunung-gunung.

Pergerakan lempeng sangat lambat, dengan kecepatan hanya beberapa sentimeter/tahun. Proses ini masih berlangsung hingga kini dan beberapa lempeng di Indonesia bergerak sebesar 7-11 cm per tahun.

Kepulauan Indonesia mulai terbentuk pada akhir kala Paleosen, 60 juta tahun yang lalu yaitu pada permulaan jaman Tersier.

Selama jaman Tersier pertengahan atau Oligosen sekitar 30 juta tahun yang lalu, Kalimantan Selatan dan Borneo Utara bersatu. Pergerakan bertahap pada kala Miosen akhir, sekitar 10 juta tahun yang lalu yang merupakan kegiatan geologi yang dramatis terjadi di Indonesia, ditandai dengan pengangkatan batuan sedimen dari dasar laut dan pembentukan pulau-pulau vulkanik baru. Selama jaman Tersier akhir, erosi terjadi pada deretan pegunungan tersebut menghasilkan endapan sedimen yang tebal.

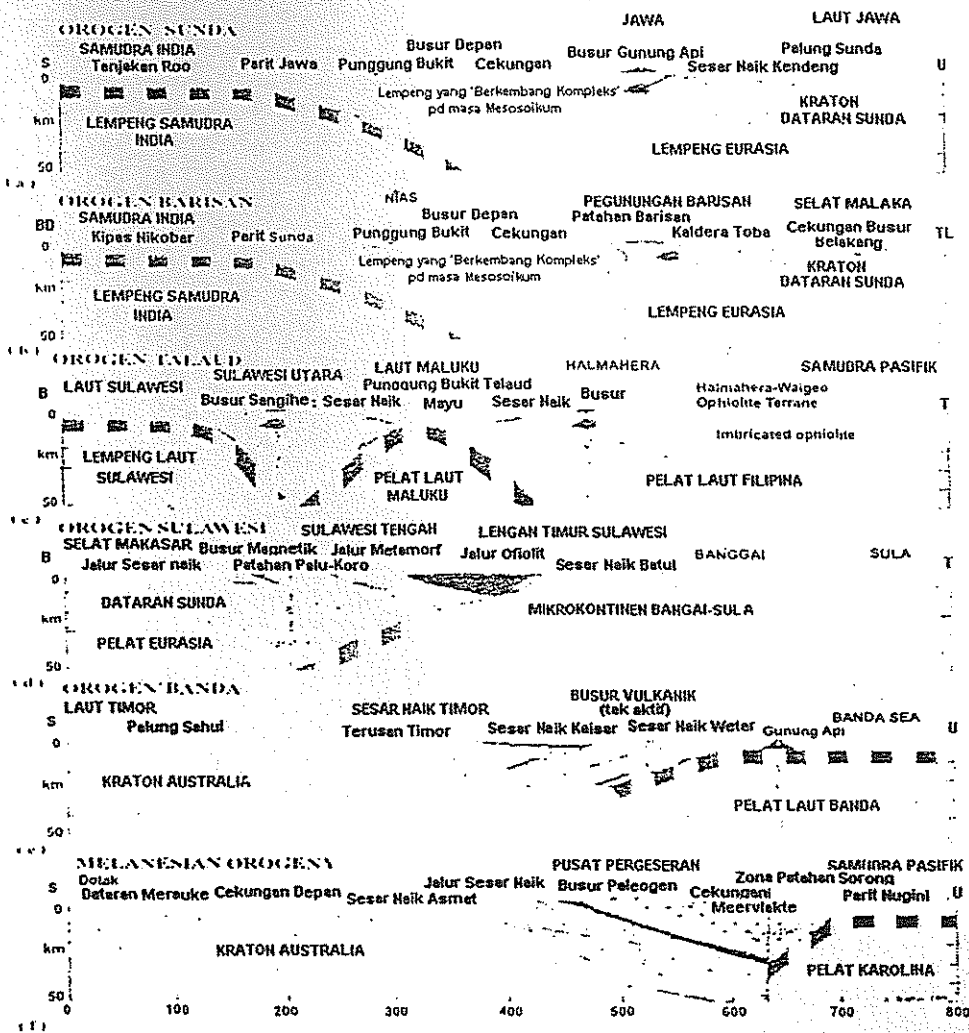
Lempeng utama dan kraton, atau lempeng yang stabil, diperlihatkan pada Gambar 2-2 bersama dengan arah pergerakannya pada saat ini. Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara and Papua berada pada perbatasan lempeng dan biasanya terpengaruh oleh gempa bumi dan letusan gunung api yang disebabkan oleh tumbukan antar lempeng.



Gambar 2-2 Fitur Neotektonik Kepulauan Indonesia (Simandjuntak, 1993)



Berdasarkan konsep tektonik lempeng kepulauan Indonesia pada jaman neogen ditunjukkan oleh 6 tipe orogen sebagai berikut (lihat Gambar 2-3).



Gambar 2-3 Interpretasi Penampang Geologi Jalur Orogen Neogen di Indonesia (Simandjuntak & Barber, 1996)

- Orogen Sunda. Tumbukan antara lempeng samudra Hindia dan lempeng Eurasia adalah tegak lurus terhadap parit penunjaman. Sistem tumbukan ini menimbulkan perkembangan yang kompleks, cekungan busur depan, busur gunung api dan busur belakang.
- Orogen Barisan. Tumbukan menyudut antara lempeng Samudra Hindia dan lempeng Eurasia. Sistem tumbukan merupakan modifikasi pengembangan lempeng Samudra Hindia.
- Orogen Talaud. Lempeng Laut Maluku menunjam di antara Sangihe dan busur depan Halmahera yang saling mendekat. Sesar naik busur depan

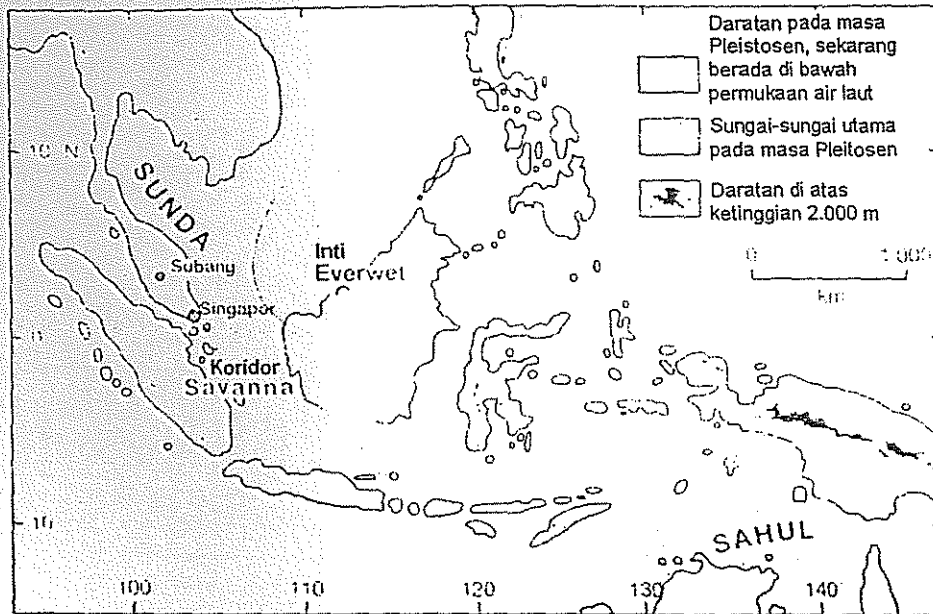
Sangihe terhadap busur depan Halmahera membentuk gunung Talaud. Penunjaman lempeng laut Sulawesi terjadi pada akhir-akhir ini.

- d) Orogen Sulawesi. Mikrokontinen Banggai-Sulawesi bertumbukan dengan ofiolit di sayap Timur Sulawesi. Tumbukan ini menyebabkan perpindahan menjurus (*strike slip*) sepanjang Sesar Pulau – Koro dan sesar-sungkup di Selat Makassar.
- e) Orogen Banda. Benua Australia menunjam di bawah pertumbuhan dan tumbukan kompleks di Pegunungan Timor. Pegunungan ini terdiri dari pertumbuhan sedimen batas kontinen Australia dan tumbukan mikrokontinen sebelumnya. Penunjaman terhenti di bagian dari zona tumbukan, tetapi kompleks tumbukan didorong melewati busur vulkanik, yang selanjutnya didorong melewati lempeng laut Banda ke arah utara, yang sebelumnya arah penunjaman berbalik.
- f) Orogen Melanesia. Benua Australia menunjam di bawah busur vulkanik Paleogen dengan daerah lipatan dan jalur sesar naik pada sedimen di bagian atasnya. Ofiolit dan busur vulkanik di pusat pegunungan menunjukkan atap (bagian atas) dari zona penunjaman. Sistem ini bersifat berlawanan dengan penunjaman lempeng Laut Karolina, tetapi terpotong oleh pergerakan daerah sesar menjurus akibat pergerakan lempeng laut Carolina.

## 2.2

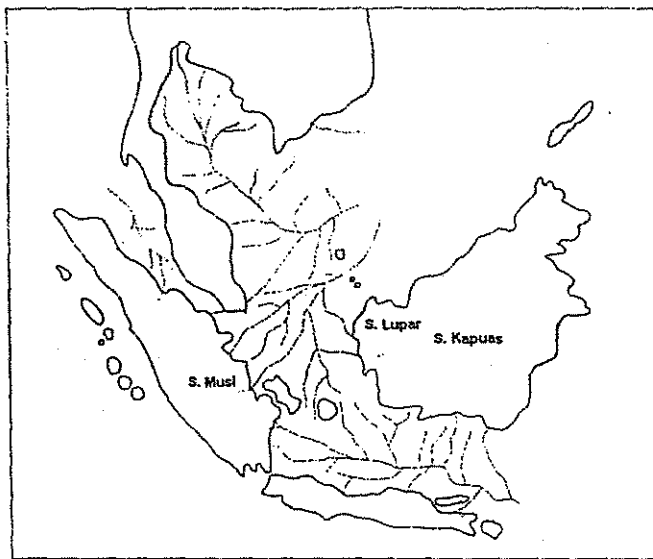
## PERUBAHAN IKLIM DAN PERMUKAAN AIR LAUT

Selama jaman Tersier dan Kwartar, kepulauan Indonesia mengalami periode penurunan permukaan air laut dan iklim yang sering berubah dibandingkan saat ini. Pleistosen (sekitar 2 juta tahun yang lalu), adalah suatu periode yang dilaporkan terjadi selang seling antara periode es dan antar perioda es. Penurunan muka air laut maksimum sekitar 200 m, yang bisa jadi menyebabkan paparan Sunda dan Sahul muncul ke permukaan. Verstappen (1975) mengidentifikasi bahwa alur-alur pada kedua paparan menunjukkan arah dari sungai pada waktu dataran tersebut berada di atas muka air laut. Gambar 2-4 memperlihatkan rekonstruksi paleogeografis umum daerah Sunda-Sahul selama jaman Kwartar.



Gambar 2-4 Rekonstruksi Paleografis Umum Daerah Sunda-Sahul selama Salah Satu Jaman Es Maksimum pada Periode Kwartar (Morley dan Flensley, 1987).

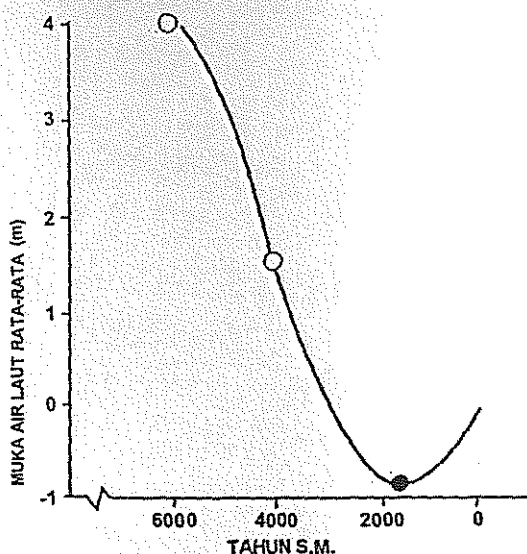
Selanjutnya, pada kala Holosen (sekitar 6 ribu tahun yang lalu), muka air laut berada sedikit di atas elevasi saat ini (6 m). Periode penurunan muka air laut pada periode ini menciptakan hubungan darat dari dataran utama Asia Tenggara ke pulau-pulau pada paparan Sunda (12.000 tahun yang lalu) dan sistem sungai pada masa lalu dan sekarang seperti diperlihatkan pada Gambar 2-5.



garis pantai sekarang (tak diarsir)  
Paparan Sunda yang tersingkap pada masa muka air laut terendah (warna lebih gelap)

Gambar 2-5 Paparan Sunda selama Jaman Es Terakhir sekitar 12000 Tahun Lalu (Tjia 1980, yang Dilaporkan oleh Mackinnon dkk, 1996).

Perubahan pada muka air laut di Asia Tenggara telah diinterpretasi lebih detail oleh Diemont dkk seperti diperlihatkan pada Gambar 2-6.



Gambar 2-6 Perubahan Muka Air Laut Rata-rata pada Masa Holosen sebagai Bagian dari Dataran Pantai Malaysia Barat (Kedah) dan Indonesia (Provinsi Kalimantan Barat dan Sumatera : Provinsi Riau dan Jambi)

Variasi muka air laut selama jaman Kwartter memiliki pengaruh yang besar pada pengendapan dan perubahan yang terjadi pada beberapa tanah lunak. Gambaran lebih jauh mengenai perubahan muka air laut diberikan oleh Situmorang (1998) sebagaimana yang tercantum pada CD Panduan Geoteknik.

Tjia (dikutip oleh Brand & Brenner, 1981) telah mengidentifikasi bahwa bumi mengalami pengangkatan 30m selama 10.000 tahun belakangan ini. Heath dan Saroso mengidentifikasi muka air laut sebelumnya berada pada elevasi sekitar 40 m di atas elevasi saat ini pada daerah 64 km sebelah Timur Bandung. Hal ini sangat memperbesar bukti akan adanya pengaruh pergerakan muka air laut.

Walaupun tidak ada bukti terjadinya pengangkatan tersebut pada endapan Holosen pada pantai Utara Jawa. Namun sepertinya kombinasi antara patahan dan cekungan telah membatasi terjadinya pengangkatan pada Jawa bagian Tengah dan Selatan serta Sumatera.

## 2.3

### BENTANG ALAM PERIODA KWARTER DI INDONESIA

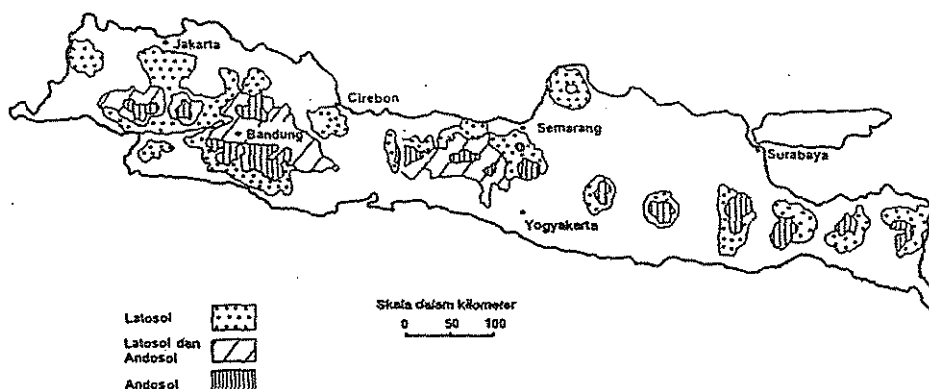
Daerah Asia Tenggara terdiri dari dua bentang alam utama: dataran tinggi pegunungan muda, dan dataran rendah delta yang datar.

Proses pembentukan pegunungan aktif bersama dengan iklim lembab yang hangat dan curah hujan yang tinggi, menyebabkan terjadinya proses erosi yang cepat, pelapukan dan pelindihan dari massa tanah. Pelapukan ini menghasilkan tanah residual dan tanah terangkut. Bentang alam dan struktur pulau di Indonesia memiliki karakter tersendiri. Sebagai contoh untuk pulau Jawa ditunjukkan pada Gambar 2-7.

Batuan vulkanik pada sebagian daerah menghasilkan tanah yang sangat berbeda dengan daerah lain yang tidak ada aktivitas vulkaniknya. Tanah residual yang ditemukan di semenanjung Asia Tenggara (Myanmar, Thailand, Vietnam dan Malaysia), memiliki karakteristik yang berbeda dengan yang ditemui pada kepulauan Indonesia dan Philipina. Perbedaan ini akan didiskusikan pada Bab 3.

Tanah residual di Indonesia terbagi menjadi dua golongan seperti diperlihatkan pada Gambar 2-7 (Wesley, 1973). Tanah yang sedikit mengalami pelapukan yang ditemukan pada dataran yang lebih tinggi berwarna antara abu-abu tua sampai dengan hitam pada permukaannya sebagai akibat adanya kandungan organik yang tinggi dan di bawahnya terdapat lempung coklat kekuning-kuningan dengan ketebalan sampai dengan 50 m. Tanah ini dinamakan andosol dan mineral lempung yang dominan adalah alophen. Mineral lempung dijelaskan pada Bab 3.

Pada ketinggian yang lebih rendah, material yang mengalami pelapukan lebih tinggi yang disebut latosol, ditemukan. Lempung merah ini biasanya memiliki ketebalan hanya sampai dengan 10 m dan dominan mengandung halloysit.



Gambar 2-7 Distribusi Jenis Tanah Vulkanik Residual di Jawa (Wesley, 1973)

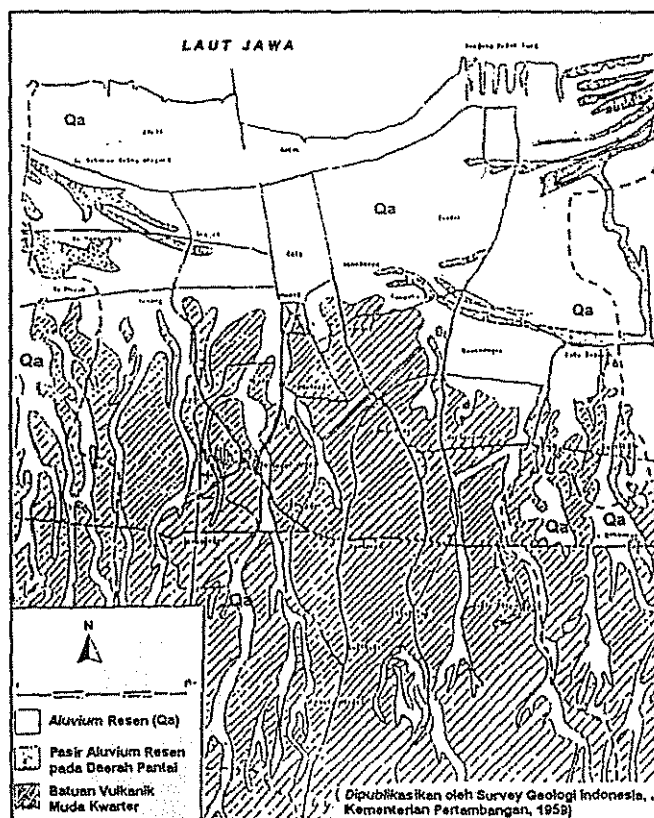
Endapan pantai berasal dari material yang terbawa oleh sungai yang besar membentuk delta dan mempunyai penyebaran lateral yang luas disekitar mulut sungai. Suatu contoh pembentukan dataran pantai diperlihatkan pada Gambar 2-8. Endapan ini biasanya terdiri atas lempung lanau abu-abu lunak yang memiliki kedalaman bervariasi dari 10 sampai dengan 30 m pada arah garis pantai. Kedalaman dari endapan ini berkurang dengan cepat menjauh dari pantai. Endapan ini mengandung 3 sampai 5% kandungan organik. Kerang sering ditemukan di seluruh profil tanah. Lanau dan pasir biasanya terdapat pada lapisan yang berbeda atau lensa, terutama pada daerah di mana iklim tropis

basah dan kering menyebabkan variasi yang besar pada aliran sungai dan sedimen.

Tipikal tanah pada dataran delta di Asia Tenggara di mulai dengan lapisan keras yang mengalami pelapukan pada permukaan, yang memiliki ketebalan mencapai 3 hingga 6 m pada daerah pedalaman dan kurang tebal atau tidak ada sama sekali pada daerah dekat pantai.

Kobayashi dkk. (1990) berpendapat bahwa lempung marin di Asia Tenggara terdiri dari lapisan lempung marin lunak atas dan bawah. Biasanya ditemukan 2 hingga 5 m lapisan lempung menengah yang lebih keras pada kedalaman sekitar 15 m di bawah muka air laut rata-rata, terletak di antara lapisan lempung marin atas dan bawah membentuk ketidakselarasan pada kedua lapisan tersebut. Hal itu terbentuk akibat pelapukan pada lempung marin yang terbuka selama penurunan muka air laut. Keberadaan dan distribusi yang luas lapisan lempung keras menengah sebagai ketidakselarasan pada daerah ini, mempertegas pengaruh penyusutan muka air laut di seluruh dunia sekitar 10.000 tahun yang lalu ketika muka air laut turun sekitar 20 m di bawah elevasi sekarang.

Namun, seperti dijelaskan pada Bab 2.2, pergerakan vertikal kerak bumi dapat saja mempunyai pengaruh yang besar pada lempeng-lempeng aktif di Indonesia.



Gambar 2-8 Tanah Lunak Jakarta

## 3 Formasi Tanah

### 3.1 ASAL USUL TANAH

#### 3.1.1 Pendahuluan

Bagi Sarjana Sipil, kata "tanah" merujuk ke setiap material yang tidak terkonsolidasi, tidak termasuk batuan dasar, yang terdiri dari butiran mineral yang memiliki berbagai ikatan yang lemah serta memiliki bentuk dan ukuran, bahan organik, air dan gas. Jadi tanah meliputi gambut, tanah organik, lempung, lanau, pasir dan kerikil atau campuran dari material-material tersebut.

Tanah mineral terutama terbentuk dari batuan. Proses pembentukan tanah terdiri dari:

- penguraian batuan oleh proses kimia, fisika dan biologi,
- pengangkutan dan pengendapan,
- perubahan selanjutnya yang disebabkan oleh tegangan akibat timbunan yang bertambah, kimia atau faktor-faktor lainnya.

Untuk memahami berbagai jenis lempung yang ditemui pada pekerjaan rekayasa sipil, dan alasan mengapa lempung-lempung tersebut memiliki perilaku teknik yang berbeda, maka proses harus dimengerti bagaimana lempung-lempung tersebut terbentuk. Oleh karenanya hal-hal berikut ini harus dipahami:

- a) pembentukan batuan secara geologi,
- b) mineralogi batuan asal,
- c) proses penguraian batuan,
- d) mekanisme pengangkutan dan pengaruhnya,
- e) mineralogi lempung,
- f) perubahan setelah pengendapan.

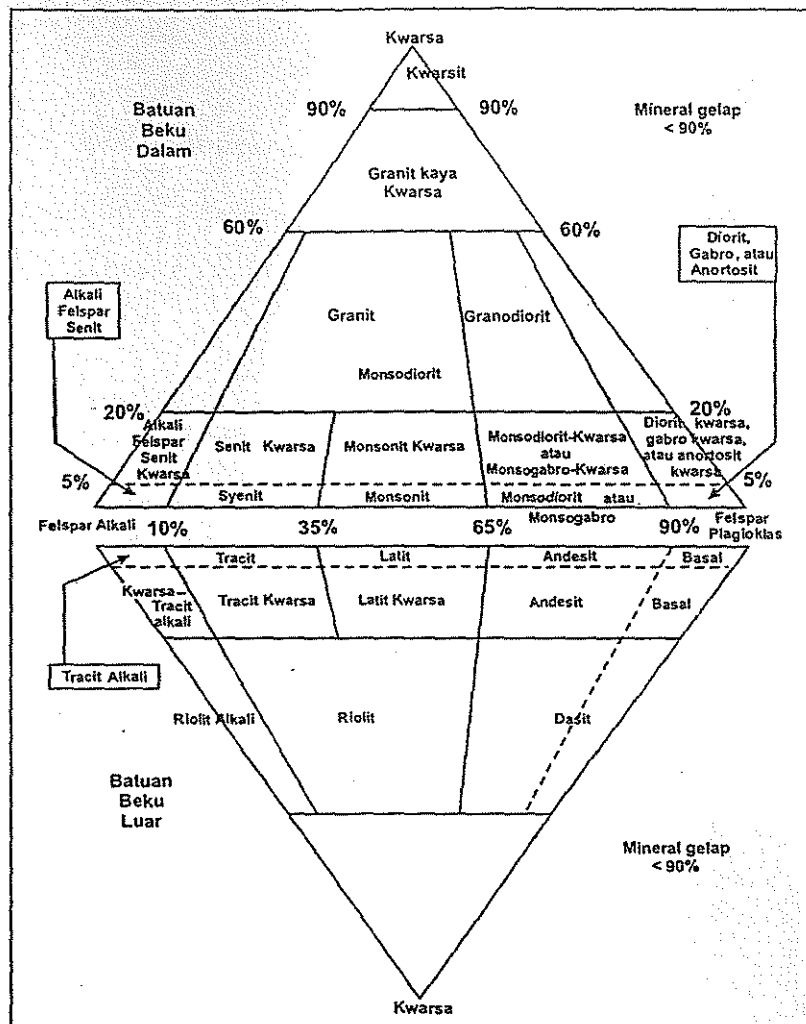
Bagian lain dari bab ini menjelaskan topik-topik tersebut secara singkat, dengan merujuk ke referensi lebih lanjut untuk pemahaman yang lebih mendalam.

### 3.1.2

## Klasifikasi Batuan

Ada tiga jenis batuan yang utama: (a) batuan beku, (b) batuan malihan dan (c) batuan sedimen, yang masing-masing diklasifikasikan pada Tabel 3-1, Tabel 3-2 dan Tabel 3-3.

Tabel 3-1 Klasifikasi Batuan Beku





**Tabel 3-2** Klasifikasi Batuan Malihan (Attewel, 1976)

Tekstur	Nama Batuan	Fitur yang Diidentifikasi
BERBUTIR	Hornfel, Kwarsit	Berbutir halus, terutama terdiri partikel kwarsa
	Marmer	Partikel berbutir halus sampai kasar dari kalisit atau dolomit
GNEISIK	Gneis	Butiran mineral memanjang sampai pipih bersusun bergantian
SEKIS	Sekis, Serpentin, Batu Sakak, Filit	Batuan bertapis tipis dengan porsi fillosilikat yang tinggi

**Tabel 3-3** Klasifikasi Batuan Malihan (Attewel, 1976)

		Kwarsa Dominan	Felspar Dominan + Mineral Lempung	
SEDIMEN MEKANIS	KASAR	Kwarsa Konglomerat		
	MEDIUM	Batupasir	Greywacke	Arkose
SEDIMEN KIMIAWI	HALUS	Kwarsit	Serpit Klorit dan Serpit Mika	Serpit/Batu Lumpur
		Batu Gamping, Dolomit, Evaporit, Rijang		

### 3.1.3

### Mineral Pembentuk Batuan

Kebanyakan batuan terdiri dari kumpulan butir mineral yang terikat secara mekanis.

Mineral yang paling utama adalah kelompok silikat yang membentuk 99% dari kerak bumi. Mineral yang lain dapat digolongkan ke dalam felspar, silika, olivin, proksen, amfibol dan mika. Klorit, magneti, serpen tinit, ilmenit dan apatit biasanya ditemui dalam jumlah yang kecil.

Mineral utama dan senyawa kimianya diperlihatkan pada Tabel 3-4.

Tabel 3-4 Senyawa Kimia beberapa Mineral Penting (Attewell dkk., 1976)

Mineral Utama	Grup Mineral	Formula Kimia
FELPAR	Ortoklas Albit Anortit	$KAlSi_3O_8$ $NaAlSi_3O_8$ $CaAlSi_3O_8$
OLVIN	Olivin Forsterit Fayalit	$(Mg,Fe)_2SiO_4$ $Mg_2SiO_4$ $Fe_2SiO_4$
PIROKSEN	Hipersten Augit	$(Mg,Fe)_2Si_2O_6$ $(CaMgFeAl)_2(SiAl)_2O$
AMFIBOL	Antofilit Hornblenda Tremolit	$(Mg,Fe)_7(Si_8O_{22})(OH)_2$ $(Ca,Mg,Fe,Na,Al)_{3-4}(Al,Si)_4O_{11}(OH)$ $Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$
MIKA	Muskovit Biotit	$K_2Al_4(Al_2Si_6)O_{20}(OH)_4$ $K_2(Mg,Fe)_6(Al_2Si_6)O_{20}(OH)_4$
KLORIT, SERPENTINIT	Klorit Serpentin	$(SiAl)_8(Mg,Fe)_6(OH)_4O_{20}$ $Mg_5Si_4(OH)_8$
LEMPUNG	Kaolinit Halosit Montmorilonit Illit Alofan Klorit Vermikulit Atapulgit	$(OH)_8Si_4Al_4O_{10}$ $(OH)_8Si_4Al_4O_{10} \cdot 4H_2O$ $(OH)_4Al_4Si_8O_{20} \cdot nH_2O$ $(OH)_4Al_4K_2(Si_6Al_2)O_{20}$ $(Al_2O_3 \cdot xSiO_2 \cdot nH_2O)$ $(OH)_4(SiAl)_6(Mg,Fe)_6O_{20}$ $(OH)_4(Mg,Ca)_x(Si_{8-x}Al_x)(Mg,Fe)_6O_{20} \cdot YH_{20}$ $(OH)_4(OH)_2Mg_5Si_8O_{20} \cdot 4H_2O$

### 3.1.4

## Mineral Lempung

Siklus mineral lempung telah diterangkan dengan jelas oleh Brenner dkk (1981) sebagai berikut:

Tanah lempung adalah kumpulan dari partikel-partikel mineral lempung dan bukan lempung, yang memiliki sifat yang sebagian besar, walaupun tidak secara keseluruhan, ditentukan oleh mineral-mineral lempung.

Mineral lempung pada intinya adalah hidrat aluminium silikat yang mengandung ion-ion Mg, K, Ca, Na dan Fe. Mineral ini bisa digolongkan ke dalam empat golongan besar, yaitu kaolinit, smektit (monmorilonit), illit (mika hidrat) dan klorit. Mineral lempung biasanya merupakan produk pelapukan batuan. Mineral ini terbentuk dari penguraian kimia mineral silikat lainnya, dan selanjutnya terangkut ke lokasi pengendapan oleh berbagai sebab.

Jenis dan jumlah mineral lempung yang terbentuk sebagian besar akibat pengaruh dari iklim, material asal, pola drainase (topografi) dan vegetasi. Iklim dianggap sebagai faktor yang paling dominan. Perpindahan hasil pelapukan bisa berlangsung dalam bentuk partikel (detrital) atau dalam bentuk ion-ion, yang telah lepas dari batuan akibat perkolasi air.

Partikel lempung dalam sedimen dapat terbentuk dari tiga jenis asal-usul. Asal-usul yang paling umum adalah dari warisan (*inheritance*), yang berarti akumulasi partikel mineral lempung yang terbentuk sebelumnya, yang menjadi

sedimen tanpa perubahan sedikitpun. Kemungkinan yang kedua adalah transformasi, dimana partikel lempung yang terbentuk sebelumnya mengalami perubahan mengikuti perubahan geokimia dalam suatu lingkungan. Dua tipe transformasi bisa dibedakan, sebagai:

- 1) *degradasi*, yaitu pelepasan ion dari kerangka mineral lempung,
- 2) *aggradasi*, yaitu penambahan ion-ion.













Mekanisme ketiga dari asal-usul lempung pada sedimen adalah neoformasi atau "*autigenesis*", yang merupakan suatu proses yang agak langka dan melibatkan kristalisasi ditempat dari mineral lempung baru dari ion-ion yang ada pada lingkungan pengendapan. Mineral lempung tipikal, yang dapat terbentuk secara neoformasi, adalah glaukonit, tetapi monmorilonit juga mungkin.

Setelah pengendapan pada lingkungan tertentu, sedimen lempung kemungkinan mengalami berbagai perubahan diagenetik, bergantung pada tekanan dan suhu lingkungan. Sedimen muda, seperti lempung lunak, telah mengalami sedikit diagenesis pada saat muncul ke permukaan akibat pengangkatan isostatis atau penurunan lautan, sementara sedimen yang terkena beban akibat berat sendiri di atasnya, terkonsolidasi dan terdehidrasi, serta partikel-partikelnya menjadi tersementasi. Kenaikan temperatur lebih lanjut menyebabkan mineral mengalami perubahan dan mineral baru (mika dan felspars) terbentuk. Proses tektonik atau aktivitas vulkanik bisa menyebabkan material yang mengalami metamorfosis muncul kembali ke permukaan, pertama oleh diagenesis mundur dan kemudian oleh pelapukan batuan yang tersingkap, dan proses pembentukan mineral lempung dimulai kembali.

Silika membentuk struktur tetrahedral atom-atom Si dan O yang memberikan susunan mantap dan oleh karenanya sangat stabil yang juga menghasilkan bentuk-bentuk lembaran.

Mineral lempung terbentuk dari atom-atom aluminium, magnesium, besi yang dikelilingi oleh oksigen atau hidroksil. Struktur rombohedral memiliki susunan yang sangat padat dan struktur yang stabil.

Fitur dari golongan utama mineral lempung ditunjukkan pada Gambar 3-1.

Mineral	Simbol Struktur	Permukaan Spesifik ( $m^2/g$ )	Kapasitas Pertukaran Aktual (me/100 g)	Bentuk Partikel	Ukuran Partikel
Serpentin			1	Bertapis atau Berserat	
Kaolinit		10-20	3	Bertapis	$d = 0.3 \text{ to } 3 \mu\text{m}$ ketebalan $= \frac{1}{3} \text{ to } \frac{1}{5} d$
Halloysit ( $4H_2O$ )		40	12	Batangan Lubang	OD = $0.07 \mu\text{m}$ ID = $0.04 \mu\text{m}$ L = $0.5 \mu\text{m}$
Halloysit ( $2H_2O$ )		40	12	Batangan Lubang	OD = $0.07 \mu\text{m}$ ID = $0.04 \mu\text{m}$ L = $0.5 \mu\text{m}$
Talek			1	Bertapis	
Pirofilit			1	Bertapis	
Muskovit			5-20	Bertapis	
Vermikulit		5-400	150	Bertapis	$t = \frac{1}{10} d \text{ to } \frac{1}{30} d$
ilit		80-100	25	Bertapis	$d = 0.1 \text{ to } 2 \mu\text{m}$ $t = \frac{1}{30} d$
Monmorilonit		800	100	Bertapis	$d = 0.1 \text{ to } 1 \mu\text{m}$ $t = \frac{1}{100} d$
Nentronit		800	100	Berbilah	$l = 0.4 \text{ to } 2 \mu\text{m}$ $t = \frac{1}{30} l$
Klorit		5-50	20	Bertapis	

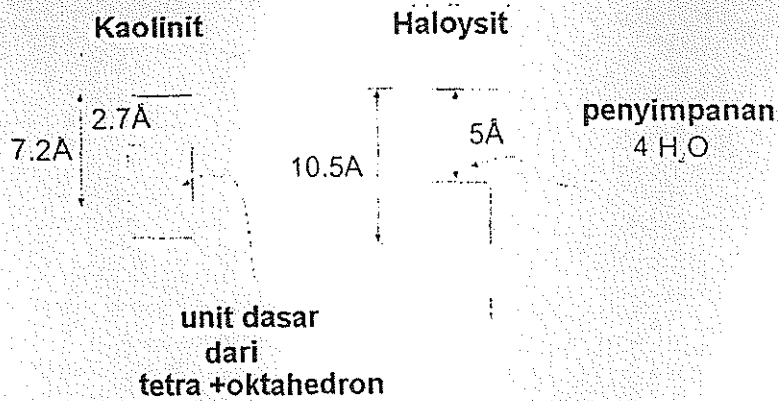
Gambar 3-1 Fitur Utama Mineral Lempung Utama (Lambe and Whitman, 1969)

### Kaolinit

Di alam, partikel kaolinit tidak terbentuk secara baik dan ikatan hidrogen di antara unit kristalnya lemah. Hal ini mengakibatkan penyerapan air dan dispersi sedikit demi sedikit sepanjang belahan unit kristal. Kaolinit juga memiliki kapasitas penggantian kation yang rendah.

### Halloysit

Halloysit memiliki struktur mineral yang sama seperti kaolinit tetapi terdapat air pada strukturnya yang berbentuk tabung, sementara kaolinit berbentuk lapisan/lembaran.



Gambar 3-2 Perbandingan Partikel Kaolinit dan Halloysit

Kristal halloysit biasanya terdapat dalam bentuk batangan berongga yang kemungkinan disebabkan lemahnya ikatan antar lapisan. Hal ini menegaskan sedikit perbedaan pada lengkungan lembaran dari gipsit dan silikat.

Air yang terkandung dalam halloysit menyebabkan adanya sifat yang khusus yang akan didiskusikan kemudian.

### Monmorilonit

Monmorilonit berbentuk sebuah lembaran gipsit di tengah yang dihimpit di antara dua lembaran silikat, dan kristalnya sendiri terbentuk oleh susunan lapisan yang terhimpun oleh ikatan yang sangat lemah di antara atom oksigen yang bersebelahan. Konfigurasi struktur ini membuat celah tersebut sangat rentan terhadap penetrasi air dan molekul kutub lainnya. Monmorilonit juga memiliki pertukaran kation yang tinggi.

Ruang antar kristal monmorilonit bergantung pada ion-ionnya. Kation-kation ini tidak permanen tetapi bisa digantikan dengan yang lainnya, yang ditentukan oleh kapasitas pertukaran kation. Jadi sebuah monmorilonit kalsium bisa mengembang jika terjadi pertukaran dengan ion sodium.

### Iilit

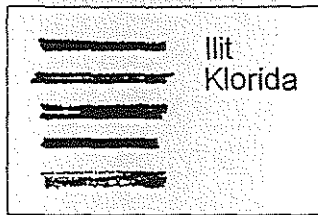
Iilit adalah adalah suatu jenis monmorilonit yang khusus yang beberapa dari silikonnya digantikan dengan aluminium, dan ion potassium menempati ruang antara lapisan unit kristal.

Kristal iilit memiliki defisiensi muatan pada permukaannya, sehingga ikatannya lebih kuat, dan pengeluaran kationnya jadi lebih sulit dan ikatan yang kuat itu mencegah terjadinya pengembangan, dan juga pertumbuhan kristal.

Sebagai akibatnya, iilit jauh lebih stabil dibandingkan monmorilonit.

### Mineral Campuran

Tanah dengan mineral sejenis jarang ditemui di alam. Umumnya tanah terdiri atas beberapa macam mineral dengan dua atau lebih mineral ditemukan dalam lapisan berselang seling, sebagaimana contohnya terlihat pada Gambar 3-3.



Gambar 3-3 Struktur Sebuah Mineral Selang – Seling

### Mineral Lain

Selain mineral silikat, tanah tropis dapat mengandung mineral non silikat, atau mineral oksida, terutama gipsit dan gutit, bentuk hidrasi dari aluminium oksida dan besi oksida. Mineral ini biasanya tidak aktif / inaktif.

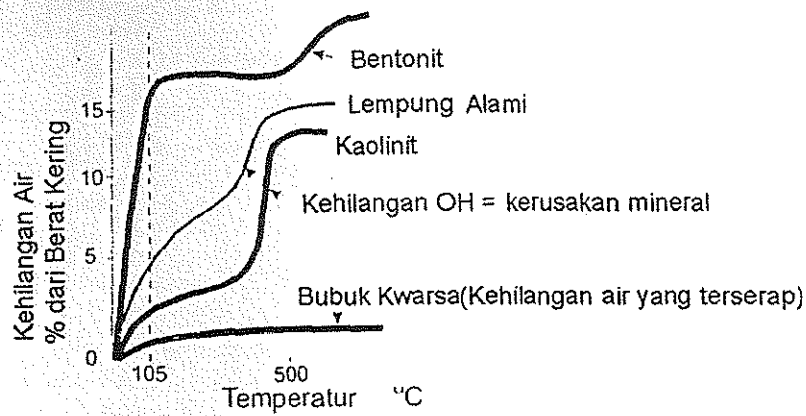
### Identifikasi Mineral Lempung

Mineral lempung dapat diidentifikasi dengan sejumlah metode di laboratorium. Dalam rekayasa sipil, pengujian-pengujian ini biasanya dilakukan terbatas untuk maksud penelitian saja.

Mineral kumpulan polimineralk berbutir halus, bisa diidentifikasi dengan cepat dengan menggunakan metode difraksi sinar X, karena ukuran kristal individu sering di luar jangkauan kemampuan penglihatan mikroskop optik. Pada tingkat yang paling sederhana, pengujian ini memberikan indikasi akan adanya kwarsa dalam suatu lempung dan indikasi jenis mineral lempungnya.

Uji difraksi sinar X yang komprehensif akan memberikan identifikasi kuantitatif semua jenis mineral yang bisa dikenali secara lengkap.

Metode perubahan suhu (thermal) juga bisa digunakan untuk membedakan mineral dengan menggunakan hubungan yang telah diketahui dalam suatu bentuk yang diperlihatkan seperti pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Pengaruh Suhu pada Mineral-mineral Lempung

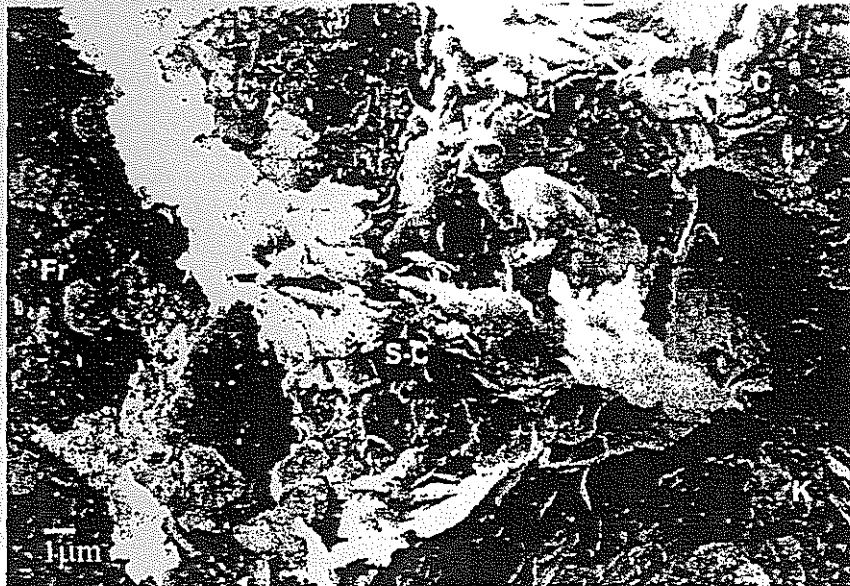
Berat jenis mineral utama dalam lempung beserta nilainya untuk mineral utama pembentuk batuan ditunjukkan pada Tabel 3-5.

Tabel 3-5 Berat Jenis beberapa Mineral (Lambe & Whitman, 1969)

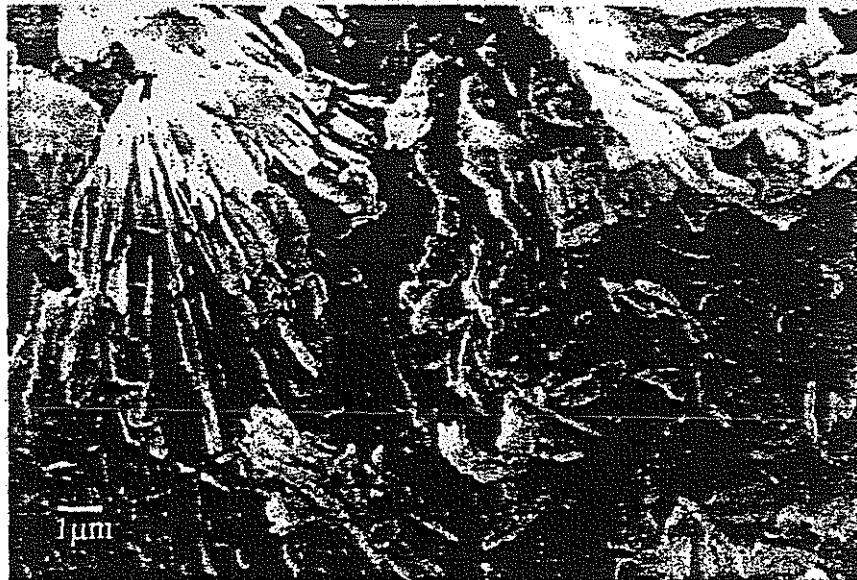
Mineral	Berat Jenis
Kwarsa	2.65
K-Felspar	2.54-2.57
N-Ca-Felspars	2.62-2.76
Kalsit	2.72
Dolomit	2.85
Muskovit	2.7-3.1
Biotit	2.8-3.2
Klorit	2.6-2.9
Pirofilit	2.84
Serpentinit	2.2-2.7
Kaolinit	2.61(a)
	2.64±/0.02
Haloyisit	2.55
Illit	2.84(a)
	2.60-2.86
Monmorilonit	2.74(a)
	2.75-2.78
Atapulgit	2.30

(a) dihitung dari struktur kristal

Pemahaman lebih lanjut mengenai tanah bisa didapat dengan menggunakan mikroskop elektron. Gambar yang diperoleh dengan cara ini untuk sejumlah mineral di Indonesia diperlihatkan pada Pelat 1 sampai 4.

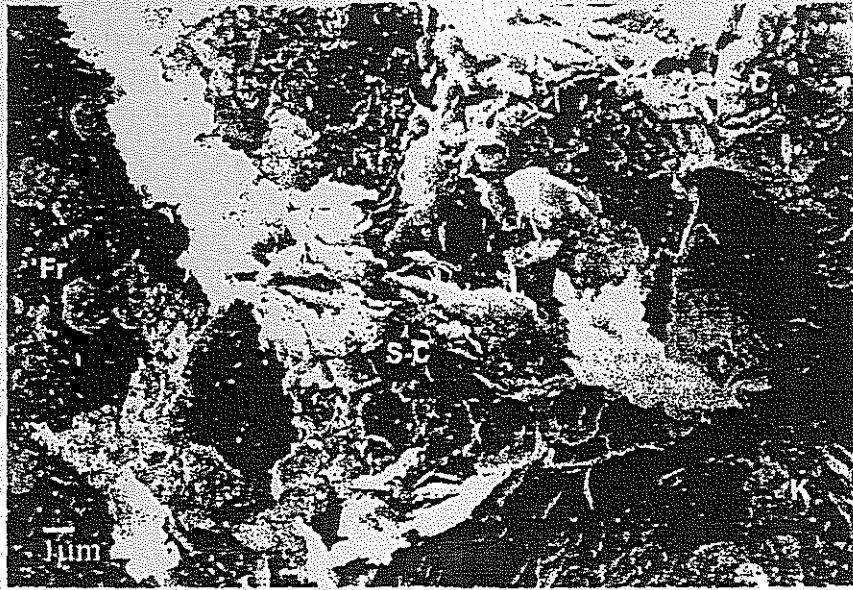


**Pelat 1** Lempung "Smektit-Klorit" (S-C) dengan beberapa Kaolinit (K) pada Pojok Kanan Bawah dan Fragmen (Fr). Lokasi: Riau (Foto oleh Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).



**Pelat 2** Kaolinit (K) dan Sejumlah Kecil Smektit (S) pada Kanan Atas. Lokasi: Kalimantan Selatan (Foto Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).





**Pelat 1** Lempung "Smektit-Klorit" (S-C) dengan beberapa Kaolinit (K) pada Pojok Kanan Bawah dan Fragmen (Fr). Lokasi: Riau (Foto oleh Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).



**Pelat 2** Kaolinit (K) dan Sejumlah Kecil Smektit (S) pada Kanan Atas. Lokasi: Kalimantan Selatan (Foto Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).

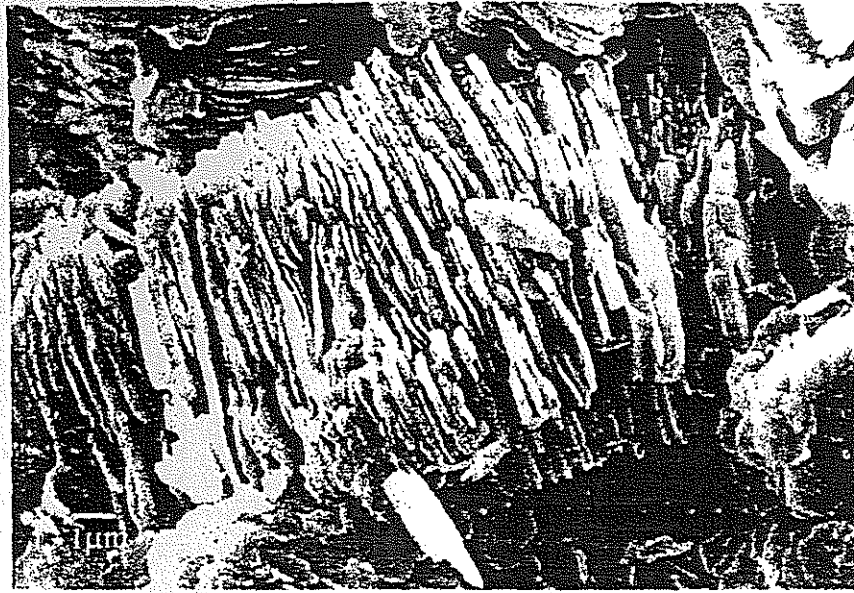


Plate 3 "Vermiculit" (V) Lempung Kaolinit. Lokasi: Riau  
(Foto oleh Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).



Pelat 4 "Smektit-Ilir" (S-I) Lempung yang Agak Rapat. Lokasi: Sumatra Selatan  
(Foto oleh Wikanda & Hermes, Sampel oleh Hermes, Puslitbang Geologi).

### 3.1.5

#### Sistem Lempung-Air

Berat sebuah partikel lempung jauh lebih kecil dibandingkan gaya muatan listrik yang bekerja pada permukaannya. Oleh karena itu muatan-muatan inilah yang mengontrol perilaku tekniknya

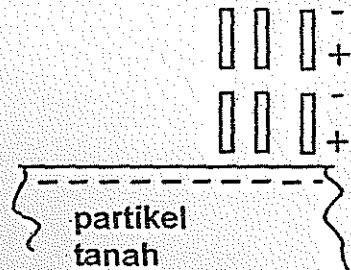
Air pada permukaan partikel lempung dipengaruhi oleh muatan listrik ini. Air yang ada pada lempung ditemui dalam tiga bentuk:

- pada permukaan partikel lempung,
- di dalam struktur kristal (contohnya monmorilonit, halloysit),
- pada rongga-rongga yang terbentuk dari agregasi partikel.

Molekul air bisa dianggap sebagai sebuah dipol seperti ditunjukkan pada Gambar 3-5. Semakin tinggi tumpukan molekul air, semakin berkurang pula pengaruh muatan lempung.

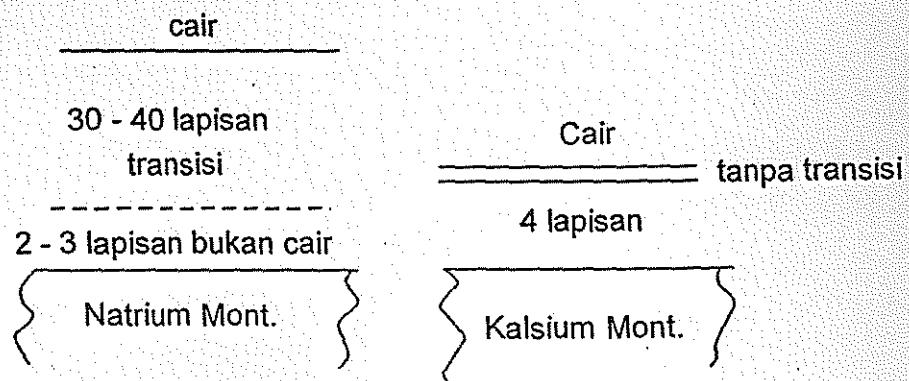
Lapisan air yang langsung berdekatan dengan butiran lempung pada hakekatnya terikat dengan butiran lempung dan bisa dianggap sebagai bahan cairan. Semakin jauh jaraknya dari lempung tersebut, air akan semakin berkurang pengaruhnya.

Jadi, lempung dengan kadar air yang rendah, sekitar batas plastis, hanya mengandung air yang bukan cairan. Dengan naiknya kadar air, tambahan air yang berbentuk cairan di antara partikel-partikel lempung akan meningkatkan mobilitas dan selanjutnya menyebabkan hilangnya kuat geser dari lempung.



Gambar 3-5 Molekul-molekul Air pada Pertemuan Lempung

Batas cair yang tinggi dari Natrium monmorilonit dapat dijelaskan oleh adanya lapisan air yang sangat tebal di antara yang bukan cairan dan cair seperti diperlihatkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6 Lapisan Air pada Sebuah Partikel Monmorilonit

### 3.1.6

#### Fabrik

Mikrofabrik suatu lempung dipengaruhi oleh bentuk partikelnya, elektrolit air pori dan konsentrasinya, dan pengaruh lingkungan pada saat dan setelah pengendapan.

Berbagai macam fabrik yang ditemui pada lempung ditunjukkan pada Gambar 3-7. Meskipun demikian lempung alami biasanya ditemui memiliki fabrik yang heterogen.

Lempung marin memiliki orientasi tertentu sesuai dengan penambahan beban, struktur yang semula terflokulasi berubah menjadi terdispersi. Hal ini berlaku umum, tetapi ada beberapa kesulitan sebagai berikut: Pada uji odometer, orientasi yang diinginkan adalah mendatar tetapi drainase yang terjadi adalah vertikal pada arah permeabilitas yang lebih rendah. Hal ini menyerupai dengan apa yang terjadi di lapangan pada lapisan lempung yang tebal.

#### Tipe-tipe Struktur

(a) Rumah Kartu

(b) Rumah Buku

(c) Sarang Lebah

(d) Terdispersi

(e) Turbostratik

(f) Menumpuk

(g) Mengelompok

Batas  
pengelompokan

Gambar 3-7 Tipe-tipe Struktur Mikrofabrik Lempung

Partikel lempung dapat membentuk gumpalan agregat yang tersemen, terdiri dari sebuah partikel lemah yang sering tersemen oleh kalsium karbonat atau bahan organik. Agregat ini praktis berkelakuan sebagai bahan yang berukuran lanau.

### 3.1.7

#### Sifat Teknik Yang Signifikan

Mineralogi lempung, elektrolit air pori dan mikrofabrik berpengaruh terhadap nilai indeks dan sifat teknik lempung.

## Nilai Indeks

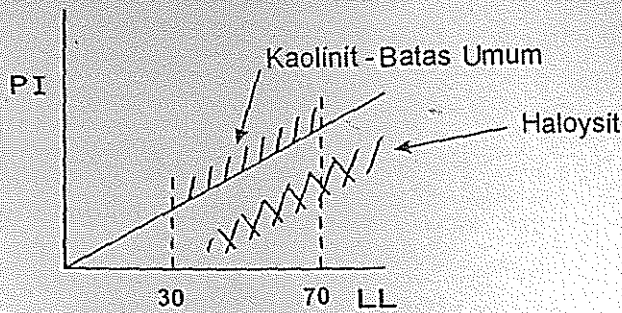
Pada umumnya, batas cair suatu lempung akan semakin berkurang berurutan mulai dari monmorilonit, atapulgit, ilit, haloysit, kaolinit seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3-6.

Tabel 3-6: Plastisitas Mineral Lempung (Attewell, 1976; Lambe & Whitman, 1969)

Mineral	Ion yang Dapat Ditukar	Batas Plastis %	Batas Cair %	Batas Susut %
Kaolinit	Li	28-33	37-67	
	Na	26-32	29-52	26.8
	K	28-38	35-69	
	Ca	26-36	34-73	24.5
	Mg	28-31	39-60	28.7
	Fe	35-37	56-59	29.2
Haloysit (2H <sub>2</sub> O)	Li	37	49	
	Na	29	56	
	K	35	57	
	Ca	38	65	
	Mg	47	65	
Haloysit (4H <sub>2</sub> O)	Li	47	49	
	Na	54	56	
	K	55	57	
	Ca	58	65	
	Mg	60	65	
Monmorilonit	Li	59-80	292-638	
	Na	54-93	280-710	9.9
	K	57-98	108-660	9.3
	Ca	63-81	123-510	10.5
	Mg	51-73	128-410	14.7
	Fe	73-75	140-290	10.3
Ilit	Li	38-41	63-89	
	Na	34-53	59-120	15.4
	K	40-60	72-120	17.5
	Ca	36-45	69-100	16.8
	Mg	35-46	71-95	14.7
	Fe	46-49	79-110	15.3
Atapulgit	Li	103	226	
	Na	100	212	
	K	104	161	
	Ca	124	232	
	Mg	109	179	7.6
	H	150	270	

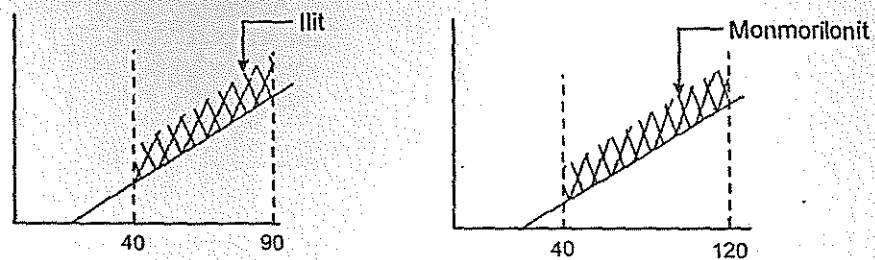
Kadar air yang tinggi pada haloysit, yang banyak terdapat pada tabung-tabungnya tidak berpengaruh pada sifat teknisnya, tetapi akan menghasilkan batas cair semu yang tinggi. Nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan kaolinit pada Gambar 3-8.





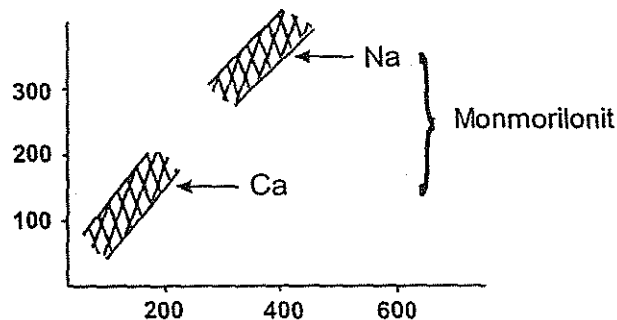
Gambar 3-8 Batas Atterberg Kaolinit dan Halloysit

Batas cair yang tinggi pada montmorillonit adalah sebagai akibat dari banyaknya lapisan air di antara partikel lempung. Batas cair illit dan monmorilonit dibandingkan pada Gambar 3-9.



Gambar 3-9 Batas Cair Illit dan Monmorilonit

Mineral-mineral tersebut juga terpengaruh oleh sifat-sifat kimia air pori. Contohnya ion-ion yang berbeda pada air pori monmorilonit memiliki pengaruh yang besar seperti terlihat pada Gambar 3-10.



Gambar 3-10 Batas Cair Kalsium dan Natrium Monmorilonit

Bila sedimen yang terendapkan pada suatu lingkungan marin di daerah batu gamping, maka kandungan kation monmorilonitnya dapat berubah dari Na ke Ca, dan pada kadar air yang tidak berubah, endapan yang semula mendekati batas plastis setelah mengalami perubahan kation, akan mendekati batas cair.

Tingkat keaktifan suatu lempung, A didefinisikan sebagai :

$$A = \frac{\text{IndeksPlastisitas}}{\text{KadarLempung}}$$

dan penetapan tingkat keaktifan dapat dilihat pada Tabel 3-7

Tabel 3-7 Tingkat Keaktifan Lempung

Prilaku	Tingkat Keaktifan, A
Tidak aktif	<0.75
Normal	0.75-1.25
Aktif	>1.25

Tingkat keaktifan memberikan suatu ukuran prilaku lempung alami berdasarkan mineraloginya. Tabel 3-8 menyajikan tingkat keaktifan tipikal untuk berbagai jenis mineral.

Tabel 3-8 Tingkat Keaktifan berbagai Jenis Lempung

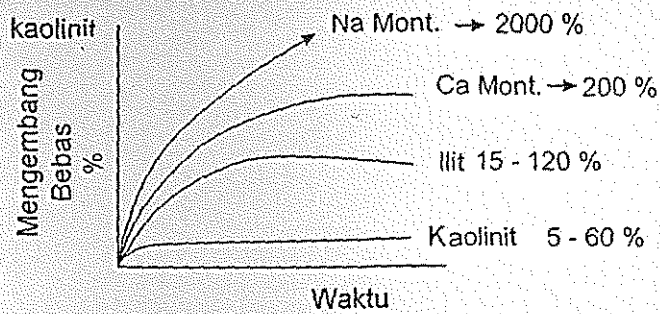
Mineral	Aktifitas, A	Perilaku
Kwarsa	0	Tidak aktif
Kalsit	0.2	Tidak aktif
Kaolinit	0.4	Tidak aktif
Illit, Klorit dan Campuran Mineral	0.9	Normal
Ca Monmorilonit	1.5	Aktif
Na Monmorilonit	>5	Aktif

Angka tingkat keaktifan yang lebih tinggi menunjukkan :

- kapasitas penyimpanan air lebih tinggi,
- kesempatan lebih besar untuk mengembang atau menyusut,
- konsolidasi lebih besar,
- kapasitas penggantian kation lebih tinggi,
- tiksotropi lebih tinggi,
- permeabilitas lebih rendah,
- kuat geser lebih rendah.

#### Prilaku Pengembangan

Lempung aktif memiliki kapasitas pengembangan yang lebih besar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3-11.



Gambar 3-11 Prilaku Pengembangan beberapa Mineral Lempung

### Permeabilitas

Permeabilitas dan laju konsolidasi mineral-mineral lempung yang berbeda, ditunjukkan pada Tabel 3-9.

Tabel 3-9 Permeabilitas Relatif Mineral Lempung Utama

	Kaolinit	Illit	Monmorilonit
Permeabilitas Relatif	Tinggi	Medium	Rendah
Laju Konsolidasi	Tinggi	Medium	Rendah

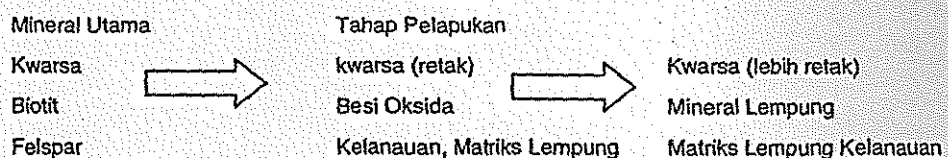
### 3.1.8

### Pelapukan

Mineral-mineral utama dan hasil pelapukannya adalah:

- kwarsa,
- mika biotit,
- felspar.

Pelapukan ini berlangsung dalam berbagai cara :



Mineral primer yang stabil membentuk fraksi pasir dan lanau, dan yang paling stabil membentuk kwarsa, diikuti oleh mika muskovit dan felspar.

Mineral sekunder yang stabil membentuk fraksi lempung:

- mineral lempung,
- hidroksida,
- limonit.



Hasil presipitasi adalah :

- Silika ( $\text{SiO}_2$ ),
- Karbonat,
- Sulfat,
- Klorida,
- Sulfida,
- Fosfat,
- Silikat.

Pelapukan batuan membentuk lempung dan jenis tanah lainnya dengan tiga cara: kimiawi, fisika dan biologi, seperti dijelaskan pada bagian berikut.

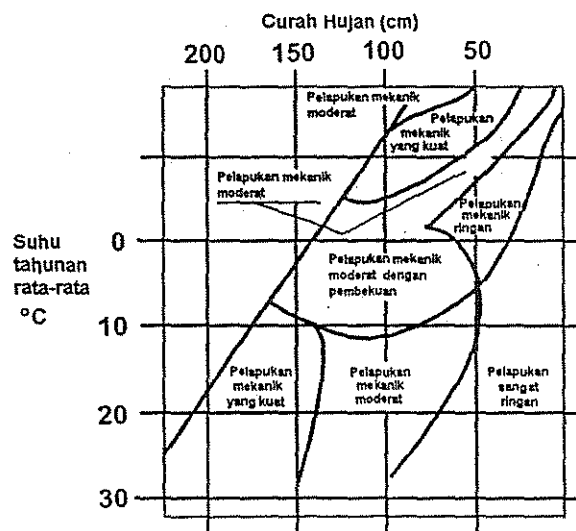
### Pelapukan Kimia

Pelapukan kimia adalah bentuk pelapukan yang dominan di daerah yang memiliki curah hujan dan temperatur yang tinggi.

Alasannya adalah:

- semua reaksi kimia akan dipercepat pada temperatur yang tinggi. Setiap kenaikan suhu sebesar  $10^\circ\text{C}$  akan mengakibatkan dua sampai tiga kali lipat kenaikan laju reaksi,
- curah hujan yang tinggi akan menghasilkan suplai air yang banyak, yang menyebabkan produk pelapukan menjadi larutan, mengangkut lebih jauh, dan membantu beberapa reaksi kimia.

Hubungan antara curah hujan, suhu dan pelapukan diperlihatkan pada Gambar 3-12

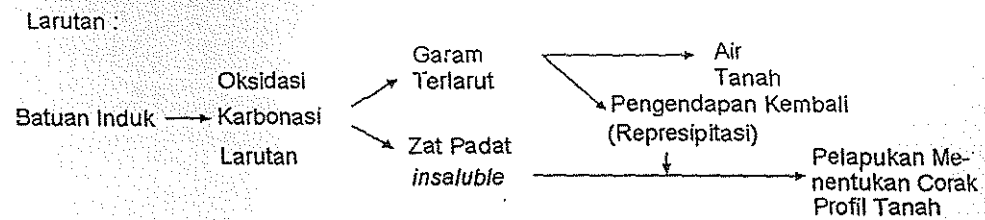


Gambar 3-12 Proses Pelapukan Kimia

Pelapukan secara fisik, dan biologis biasanya pengaruhnya kecil pada kondisi-kondisi iklim tersebut.

Pelapukan kimia menghasilkan perubahan mencolok terhadap sifat-sifat kimia, fisika dan penambahan volume. Berat jenis selalu mengalami penurunan akibat pelapukan. Pengembangan volume menyebabkan tegangan internal yang menyebabkan fragmentasi.

Bentuk pelapukan kimia dan hubungannya dengan curah hujan dan air tanah diperlihatkan pada diagram pelarutan pada Gambar 3-13.



Gambar 3-13 Diagram Pelarutan

Reaksi kimia yang berkaitan dengan pelapukan adalah:

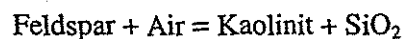
- hidrasi, hidrolisis,
- oksidasi,
- reduksi,
- karbonasi.

### Hidrasi

Proses ini terjadi bolak-balik. Contohnya, anhidrit jika muncul dekat permukaan akan menyerap air dan membentuk gipsum akan terjadi ekspansi.

### Hidrolisis

Penambahan air yang permanen. Contohnya:



### Oksidasi/Reduksi

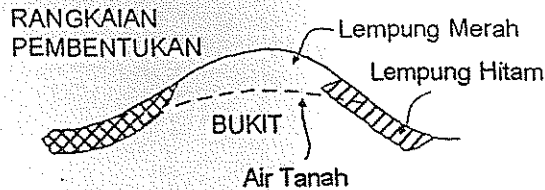
Yang paling menonjol dari proses ini adalah oksidasi dan reduksi dari besi. Oksidasi menghasilkan oksida besi yang membuat tanah berwarna merah-coklat. Pada lingkungan reduksi, seperti di bawah muka air tanah, besi akan berubah menjadi sulfida dan memiliki karakteristik warna abu-abu tua atau hitam.

## Pelindihan

SiO <sub>2</sub>	> Pelindihan >	FeO	> Pelindihan >	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Fe		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		bauxit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Tanah lateritis		

## Lempung Merah dan Hitam

### Lempung Merah dan Hitam



Gambar 3-14 Pembentukan Lempung-lempung Merah dan Hitam

Lempung merah terbentuk di atas muka air tanah akibat pelindihan garam-garam yang menghasilkan tanah kaolinitik.

Lempung hitam terbentuk pada dasar lembah yang jenuh dan sebagian besar merupakan monmorilonit. Kandungan organik yang rendah, antara 1-1.5%, terjadi pada daerah drainase buruk yang sering mengalami pembasahan dan pengeringan.

Profil pelapukan batuan vulkanik di daerah tropis terdiri dari andosol yang mengandung alofan pada daerah yang memiliki daerah drainase yang baik dan latosol yang mengandung halloysit pada dataran rendah. Proses pewarnaan sama sekali berbeda, seperti dijelaskan pada Bab 2.3.

Urutan pelapukan pada abu vulkanik adalah:

Abu > alofan > halloysit > kaolinit

## Pelapukan secara Fisik

Pelapukan secara fisik di daerah beriklim tropis biasanya tingkat pengaruhnya sekunder. Pengaruh yang utama adalah berkurangnya ukuran partikel dan bertambahnya luas permukaan. Tidak ada perubahan pada komposisi kimia.

Bentuk utama dari pelapukan secara fisik adalah::

- pelepasan beban (pengembangan batuan selama erosi),
- ekspansi perubah suhu,
- pembekuan,
- penarikan koloid (pengaruh penarikan gel-gel).

### **Pelapukan secara Biologis**

Dua bentuk dari pelapukan secara biologis adalah:

- proses pembelahan oleh akar, yang merupakan suatu bentuk pelapukan secara fisika,
- asam dari tumbuhan, suatu bentuk pelapukan secara kimia.

Asam dari tumbuhan biasanya tidak begitu penting, meskipun lempung di bawah gambut berserat yang asam pasti terpengaruh oleh adanya asam tersebut.

## **3.1.9**

### **Hasil Proses Pelapukan**

Tanah yang menutupi permukaan bumi terbagi menjadi dua berdasarkan proses pembentukannya: tanah residual dan tanah terangkut. Tanah residual adalah hasil dari pelapukan atau dekomposisi batuan atau tipe tanah lain yang pada prinsipnya tetap berada pada tempatnya pada waktu mereka terbentuk. Jika tanah berpindah ke lokasi yang baru dengan cara pengangkutan (air yang mengalir, es, gravitasi atau angin) disebut sebagai tanah *terangkut*.

#### **Tanah Residual**

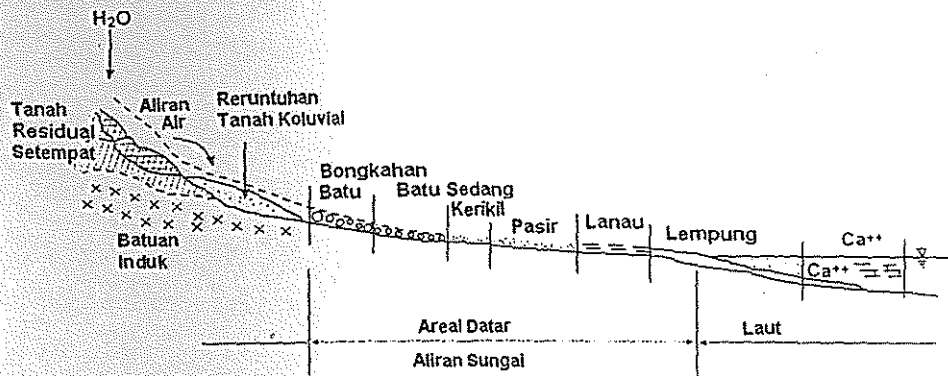
Di Indonesia, tanah residual terdapat di sebagian besar daerah dengan topografi pegunungan, perbukitan dan yang bergelombang dan ditandai oleh warna merah atau coklat sebagai hasil dari proses lateritisasi. Tanah residual terdiri dari tanah berbutir halus kelanauan atau kelempungan, yang memiliki konsistensi medium sampai dengan keras dan menampakkan adanya pelapisan atau horison.

#### **Tanah Terangkut**

Jika tanah berpindah ke lokasi yang baru melalui cara transportasi, maka disebut sebagai tanah terangkut. Jenis transportasi dan lingkungan pengendapannya, cukup berpengaruh pada sifat dari endapan tersebut. Ada lima jenis tanah terangkut menurut cara pemindahannya:

- 1) tanah yang diendapkan oleh udara,
- 2) tanah yang diendapkan oleh es,
- 3) tanah yang diendapkan akibat gravitasi,
- 4) abu vulkanik,
- 5) tanah yang diendapkan oleh air.

Tahapan tanah terangkut diperlihatkan pada Gambar 3-15.



Gambar 3-15 Transportasi Tanah dan Pengendapan

Dari lima jenis tanah terangkut hanya 3 jenis yang banyak ditemui di Indonesia, dan ciri-cirinya dijelaskan di bawah ini.

### Abu Vulkanik

Tanah yang berasal dari abu vulkanik terdapat di sebagian besar dari pulau-pulau vulkanik di Indonesia. Abu vulkanik, yang sebagian besar terdiri dari partikel berukuran lanau yang bercampur dengan bongkahan berukuran besar dan terdapat di sebagian besar daerah perbukitan, telah mengalami pelapukan lebih jauh dengan membentuk tanah vulkanik residual.

### Endapan Koluviial

Endapan tanah, yang telah mengalami pemindahan akibat gravitasi, disebut sebagai endapan koluviial. Ukuran sedimen tertentu yang dipindahkan oleh gravitasi, akan berkurang melalui tumbukan, membentuk partikel bersudut berukuran besar dengan gradasi yang jelek. Endapan longsoran, aliran lumpur, dan lawina membentuk tanah jenis ini. Tanah ini terdiri dari tanah berbutir halus sampai dengan bongkahan dan mungkin mengalami pelapukan lebih lanjut untuk membentuk tanah residual yang baru.

### Tanah yang Diendapkan oleh Air

Tanah yang diendapkan oleh air meliputi endapan alluvial dan endapan marin.

Endapan ini terdapat di dataran aluvial, pantai, dan endapan delta di sebagian besar pulau-pulau besar seperti Jawa, Sumatra, Kalimantan dan Papua Barat. Bagian atas dari endapan ini sebagian besar merupakan endapan Holosen dan bagian bawah lapisan ini biasanya merupakan lapisan yang lebih keras yang berasal dari pengendapan yang lebih tua yaitu pada jaman Pleistosen.

Pengendapan bahan yang berasal dari degradasi partikel yang lebih besar terjadi bersamaan dengan pengendapan material melayang-layang dari partikel mineral lempung, lanau dan organik yang dihasilkan dari proses kimia dalam air. Jika pengendapan berlangsung pada air tawar, akan dihasilkan endapan lakustrin. Bila Elektrolitnya rendah, maka laju pengendapan akan rendah, dan pemisahan

partikel akan terjadi. Partikel lanau dan partikel yang lebih besar dari lempung akan mengendap dan keluar dari suspensi satu per satu, sementara partikel yang lebih kecil tetap berada dalam bentuk gumpalan-gumpalan.

Tanah lunak bisa juga ditemukan sebagai hasil dari :

- longsor baru, yang menghasilkan koluvial yang basah,
- lahan irigasi, terutama untuk padi,
- sampah dan lumpur buangan.

Jenis tanah tersebut dapat menimbulkan masalah tertentu, atau membutuhkan tindakan-tindakan khusus dalam penanganannya, dan tidak akan dibahas dalam Panduan ini.

## 3.2

### PEMBENTUKAN GAMBUT

Gambut biasanya dihubungkan dengan material alam yang memiliki kompresibilitas yang tinggi dan kuat geser yang rendah. Material tersebut terdiri dari terutama jaringan nabati yang memiliki tingkat pembusukan yang bervariasi. Umumnya memiliki warna coklat tua sampai dengan hitam, dan karena berasal dari tumbuh-tumbuhan yang mengalami pembusukan, maka akan memiliki bau yang khas, dan konsistensi yang lunak tanpa memperlihatkan plastisitas yang nyata, dan tekstur mulai dari berserat sampai dengan amorf. Di sekitar area gambut, akan ditemukan tanah organik dengan kandungan organik yang bervariasi pula.

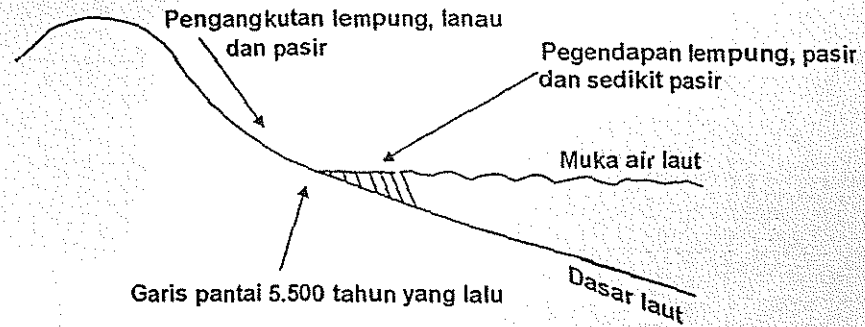
Gambut dapat ditemui di pegunungan, dataran tinggi dan rendah. Gambut terbentuk pada kondisi iklim yang berbeda-beda: tropis, sedang dan dingin. Jika diklasifikasikan berdasarkan topografi, maka gambut bisa berupa gambut dataran tinggi, gambut di cekungan atau gambut pantai.

Van de Meene (1984) menjelaskan pembentukan gambut di Asia Tenggara dengan suatu proses yang dimulai 18 000 tahun yang lalu. Pembentukan gambut dilihat dari sudut pandang geologi dapat dijelaskan sebagai berikut:

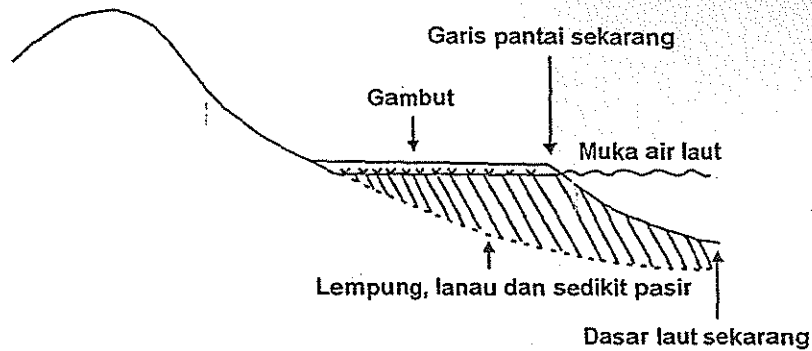
- a) Sejak akhir Pleistosen sebagian besar lautan menyusut terkumpul membentuk salju di dataran tinggi dan deretan pegunungan yang tinggi. Daerah-daerah dimana deposit gambut sekarang dapat ditemui yaitu : Sumatra, Kalimantan, Sulawesi, merupakan sebagian besar paparan Sunda, sementara Irian Barat merupakan sebagian besar paparan Sahul, seperti ditunjukkan pada Gambar 2-4.
- b) Pada saat es mulai mencair, paparan tersebut secara bertahap tenggelam sampai dengan sekitar 5500 tahun yang lalu, saat muka air laut tertinggi dicapai.

- c) Sejak itu material klastik berpindah dari daerah dataran tinggi menuju laut melalui sungai. Secara bertahap, dataran pantai meluas ke arah laut dan di dataran terbentuk tanggul alami seperti terlihat pada Gambar 3-16 & Gambar 3-17.

Barisan pegunungan penghasil lempung, pasir, lanau dan pecahan batuan

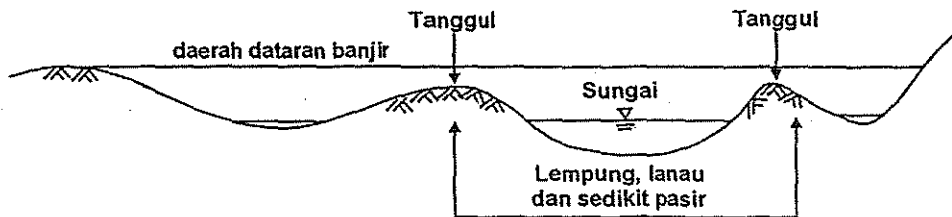


a. Keadaan 5.500 tahun yang lalu



b. Keadaan sekarang

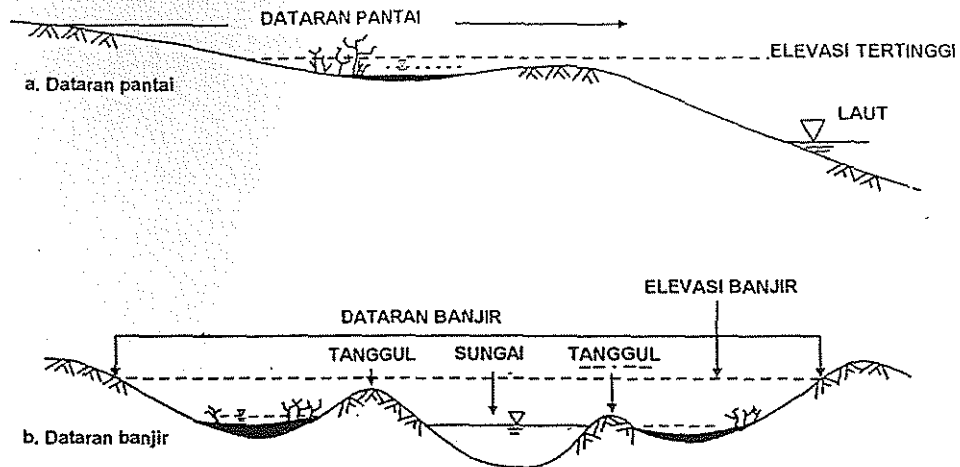
Gambar 3-16 Skema Pembentukan Dataran Pantai yang Tertutup oleh Gambut (Van de Meene, 1984).



Gambar 3-17 Profil Sungai dan Dataran Banjir yang Dipisahkan oleh Tanggul Alam.

Pembentukan gambut dimulai dari daratan ke arah pinggir rawa-rawa bakau. Sedimen halus yang terbawa oleh sungai tersangkut pada akar-akar bakau membentuk daratan baru.

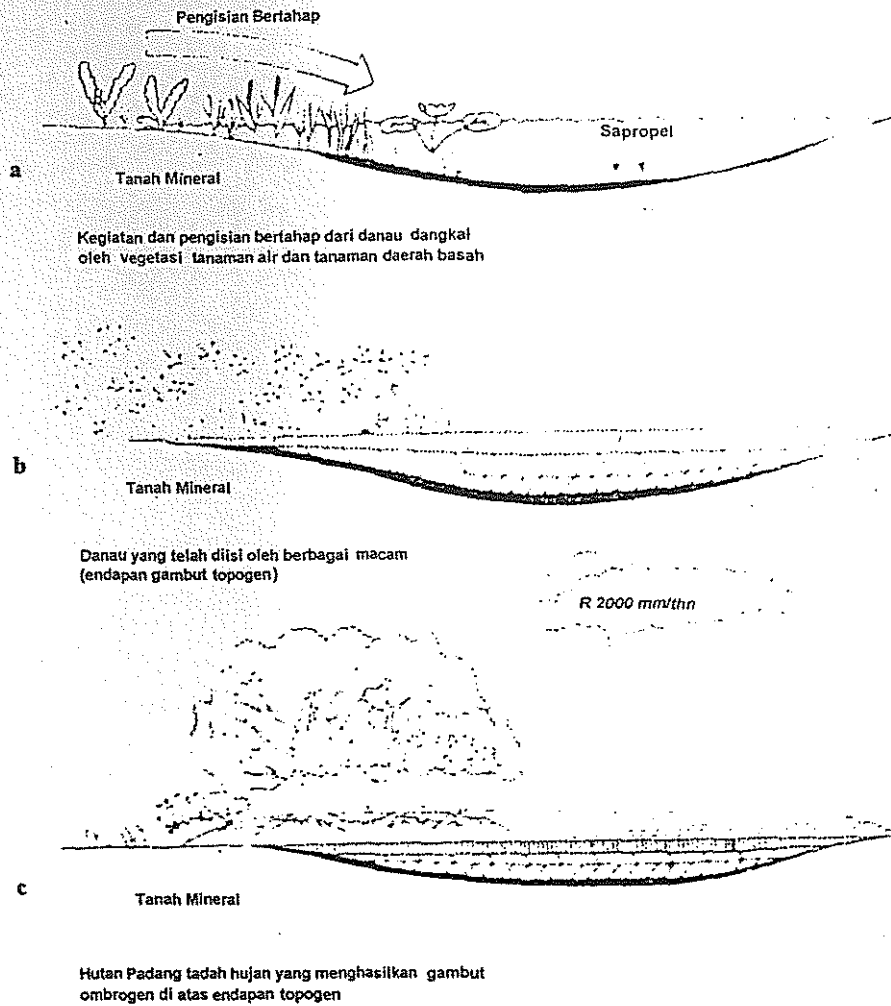
- d) Dataran pantai dan tanggul alami yang terbentuk dengan cara ini drainasenya akan sangat buruk dan menjadi daerah berawa. Danau yang dangkal terbentuk dan sisa-sisa tumbuhan air mulai terakumulasi dan secara bertahap danau tersebut terisi tumbuh-tumbuhan hutan. Situasi ini menciptakan suatu lingkungan danau seperti terlihat pada gambar 3-18, a dan b.



Gambar 3-18 Daerah danau atau rawa (a dataran pantai .b. dataran banjir)

- e) Pada tahap awal tumbuhan hidup dari akar-akar yang menyerap nutrisi dari lempung atau lanau dan pasir (selanjutnya disebut tanah mineral) seperti diperlihatkan pada Gambar 3-19, a dan b.
- f) Pada tahap berikutnya, setelah sisa-sisa tumbuhan terakumulasi yang jarak antara permukaan dan tanah mineral bertambah jauh, akar-akar tumbuhan tidak lagi bisa mencapai tanah mineral dan tumbuh-tumbuhan harus bisa hidup dari nutrisi tanaman yang ada pada sisa-sisa tanaman yang mulai membentuk lapisan gambut.
- g) Akibat elevasi permukaan gambut bertambah, air banjir sungai yang membawa zat mineral tidak mencapai elevasi tumbuhan dan selanjutnya akar tumbuh-tumbuhan menjadi lebih bergantung pada suplai nutrisi yang berasal dari air hujan dan akumulasi sisa-sisa tumbuhan, seperti diperlihatkan pada Gambar 3-19, c.





Gambar 3-19 Pembentukan Lingkungan Sungai yang Terdiri dari Berbagai Jenis Gambut (Van de Meene, 1984 ).

Oleh karena itu asal-usul deposit gambut dibagi menjadi dua tipe:

**Gambut topogenos** yang terbentuk pada cekungan oleh tumbuhan melalui proses dari c sampai dengan e di atas.

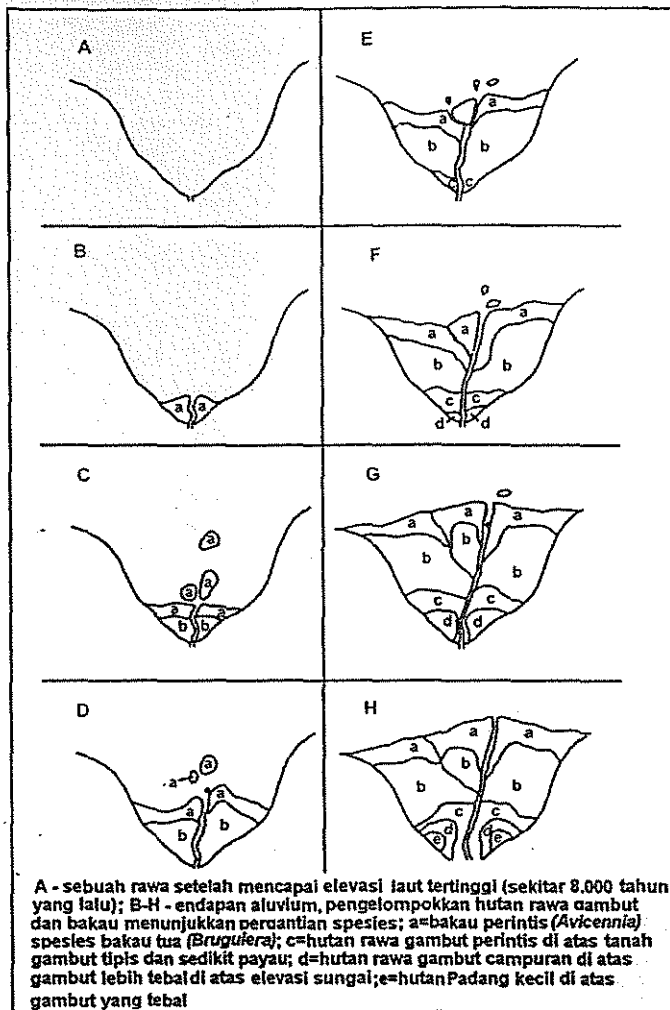
**Gambut ombrogenos** yang dibentuk oleh tumbuhan yang berkembang melalui proses dari f ke g di atas.

Selama perkembangan gambut ombrogenos lebih lanjut, nutrisi secara bertahap berkurang oleh pelindihan dan vegetasi akan semakin kurang rimbun dan bervariasi. Sebagai akibat dari berkurangnya zat organik, laju pertumbuhan gambut berkurang dan untuk jangka panjang hal ini berkembang menjadi suatu bentuk yang dikenal sebagai hutan Padang seperti terlihat pada Gambar 3-19 c.

Keberadaan gambut dataran rendah, bisa dibedakan menjadi dua lingkungan fisiografis yang berbeda (Van de Meene, 1984).



Pembentukan rawa-rawa gambut pada suatu estarium terlihat pada Gambar 3-21.



Gambar 3-21 Hipotesa Pembentukan Suatu Rawa-rawa Gambut (Whitten dkk, 1987)

### 3.2.1

## Gambut di Indonesia

Gambut tropis mencakup kurang lebih 50 juta hektar atau 10 persen dari luas dataran gambut di seluruh dunia. Luas gambut di Indonesia diperkirakan antara 18 dan 27 juta hektar. Oleh karena itu, luas gambut di Indonesia merupakan yang ketiga terbesar di dunia.

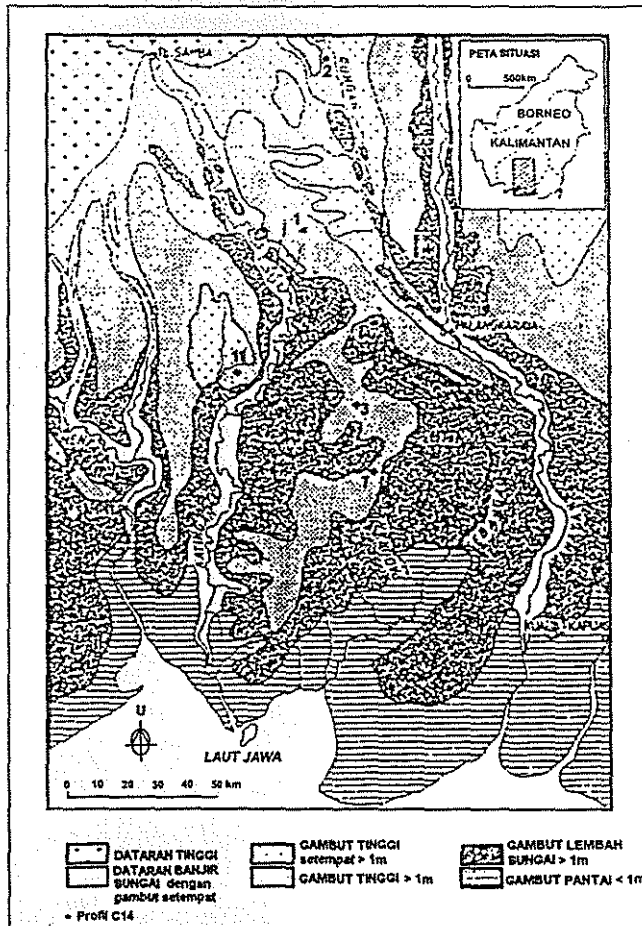
Sejumlah besar daerah di Sumatra dan terutama Kalimantan mengandung tanah gambut yang signifikan, dan di bawahnya terdapat lapisan tanah lunak sampai dengan keras. Gambut tersebut berusia muda, berserat, dan sangat kompresibel. Pada kebanyakan kasus terdapat bukti yang menunjukkan adanya sedikit penguraian organik daun-daun, ranting-ranting pohon, dan semak-semak yang jelas terlihat. Sebagian besar endapan gambut ini bertipe ombrogenos. Pada daerah pantai, tebal maksimum endapan gambut adalah 2 meter sementara di

daerah pedalaman ditemui endapan yang lebih dalam. Di Sumatra, ketebalan maksimum gambut tercatat 16 meter, sementara ketebalan sampai dengan 20 m dapat ditemui di Kalimantan.

Pada dataran rendah Kalimantan, penyebaran maksimum gambut ditemui pada aluvium marin sepanjang pantai barat dan selatan, dan ke arah timur mencapai sungai Barito dan sungai-sungai yang mengalir ke selatan. Di pedalaman, rawa-rawa gambut terbentuk di sekitar sungai Kapuas dan Mahakam (MacKinnon dan Artha 1981). Endapan gambut yang lebih besar ditemui di hulu hutan bakau pantai di Kalimantan, di daerah pantai dan delta Sarawak, dan Brunei yang merupakan gambut rawa ombrogeneos (Driesen, 1977; Morley 1981).

Gambut juga terbentuk di lembah-lembah dengan drainasenya yang buruk pada dataran tinggi, dan merupakan karakteristik hutan tropis di daerah pegunungan atas (Gunung Kinibalu) (Whitemore, 1984a). Lapisan gambut yang tipis juga ditemui pada permukaan tanah di hutan yang terendam air secara periodik.

Pembedaan jenis gambut yang agak detil diberikan oleh Siefferman dkk pada Gambar 3-22



Gambar 3-22 Jenis-jenis Gambut pada Sebagian Kalimantan Tengah (Siefferman dkk, 1988)

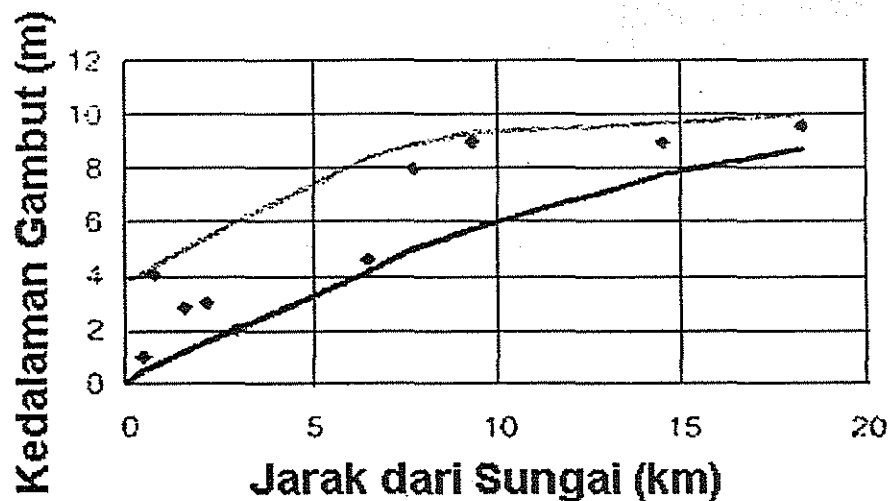
Sampai batas tertentu, tipe gambut dan ketebalannya dapat diperkirakan berdasarkan lokasinya dan hutan yang menutupinya (jika masih ada).

Rieley (1991), yang dikutip sebagai kesimpulan oleh Andersen, dari tipe hutan yang ditemukan mulai pinggir ke tengah kubah gambut, dapat dilihat pada Table 3-10, sebagai berikut ini :

**Tabel 3-10** Kesimpulan Komunitas Urutan Tipe-tipe pada Gambut Rawa di Serawak (Rieley, 1991)

Tipe 1 <i>Gonystylus-Dactylocladus-Noscortechnicion</i> (hutan rawa campuran). Struktur dan fisiognomi sesuai dengan hutan hujan hijau dipterocarp pada tanah mineral.
Tipe 2 <i>Shorca albida-Gonstylus-Stenonurus association</i> , sesuai tipe 1 tetapi didominasi oleh pohon besar shorca albida yang terpencair.
Tipe 3 <i>Shorca albida cosnociation</i> . Kumpulan shorca albida, merupakan pohon yang sangat tinggi bervariasi 45 m 60 m, didominasi oleh shorca albida.
Tipe 4. <i>Shorca albida-Litsca-Parastemon</i> . Selain tinggi dan lebat, terdiri dari pohon yang lebih kecil yang memberikan kenampakan seperti kutub.
Tipe 5 <i>Tristania-Palaquium-Parastemon</i> . Transisi tipe 4 dan 6.
Tipe 6 <i>Combrotocarpus-Dactylocladus</i> . Tipe ini mirip batang-batang daerah sawana dibanding hutan hujan tropis daerah rendah.

Hubungan antara jarak dari sungai dan tebal gambut telah diidentifikasi pada kubah gambut di Kalimantan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3-23.

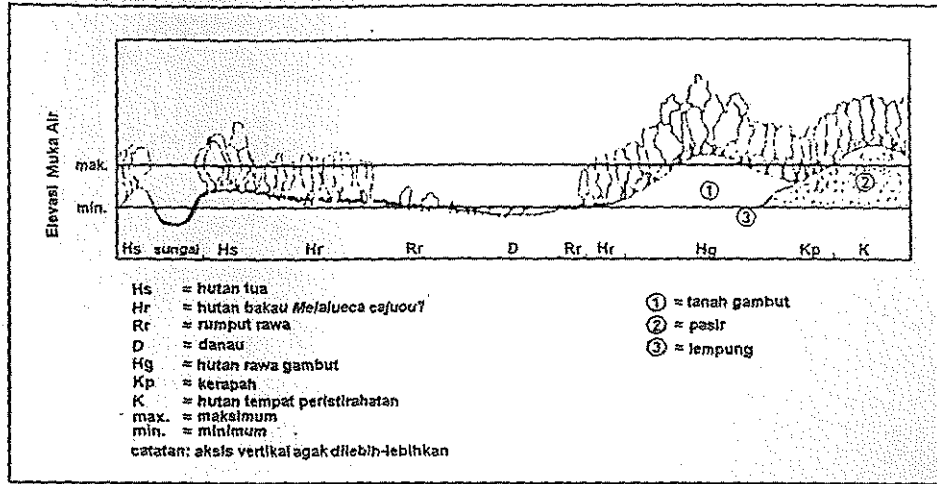


Gambar 3-23 Kedalaman gambut di Kalimantan

### Hutan Bakau Air Tawar

Hutan bakau tersebar luas pada tanah aluvial yang terendam dalam waktu yang lama oleh air tawar. Hutan ini berasosiasi dengan rawa-rawa pantai, danau yang kering dan cekungan sungai dataran rendah yang besar (Contoh di Kalimantan, Kapuas, Mahakam Tengah, Barito dan Negara, Seruyan dan Kahayan).

Lingkungan rawa air tawar mengandung tanah dan vegetasi yang sangat heterogen. Meskipun hanya beberapa sentimeter, gambut mungkin akan dijumpai, keragaman hutan ini agak berbeda dari hutan rawa gambut yang dalam. Gambar berikut ini memberikan gambaran perbedaan jenis vegetasi yang ditemui di lembah Sungai Negara, Kalimantan Selatan.



Gambar 3-24 Rantai Vegetasi (hipotetis) Lembah Sungai Negara (Geisen, 1990)

## 4

# Klasifikasi Tanah Lunak

### 4.1

## PENDAHULUAN

Sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan di Indonesia adalah sistem yang telah dikembangkan di Amerika Serikat yang lebih dikenal dengan sistem klasifikasi USCS (*Unified Soil Classification System*). Sebagaimana sistem klasifikasi lainnya yang digunakan diseluruh dunia, USCS mengklasifikasikan tanah berdasarkan ukuran dan distribusi ukuran partikel dan sifat-sifat butir halus yang dikandungnya. Sistem USCS ini menggolongkan tanah ke dalam tiga kategori utama, yaitu:

- tanah berbutir kasar,
- tanah berbutir halus,
- tanah dengan kadar organik tinggi.

Tanah inorganik lebih jauh dibagi menjadi beberapa sub klasifikasi, kerikil, pasir, lanau, dan lempung.

Sebagaimana diketahui bahwa sistem USCS ini tidak menjelaskan lebih jauh tentang klasifikasi untuk tanah organik dan gambut, dan dalam sistem ini tanah organik dan gambut hanya diklasifikasikan ke dalam satu klasifikasi.

### Sistem Klasifikasi Tanah yang Digunakan

Ketika melakukan penyelidikan dalam pelaksanaan proyek-proyek jalan, tanah yang ada dapat diklasifikasikan berdasarkan sistem USCS dan dilengkapi dengan sistem klasifikasi tanah organik dan gambut yang diberikan dalam Panduan ini .

### 4.2

## KLASIFIKASI TANAH LUNAK

Sistem USCS membagi tanah menjadi tiga kelompok utama: tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus dan tanah dengan kandungan organik yang tinggi. Lebih jauh dalam Panduan ini tanah berbutir halus dibagi lagi menjadi tiga kelompok berdasarkan kandungan organiknya, sebagaimana terlihat dalam Table 4-1.

Table 4-1 Klasifikasi Tanah berdasarkan Kadar Organiknya

Kadar Organik	Kelompok Tanah
> 75%	Gambut
25% - 75%	Tanah Organik
< 25%	Tanah dengan Kadar Organik Rendah

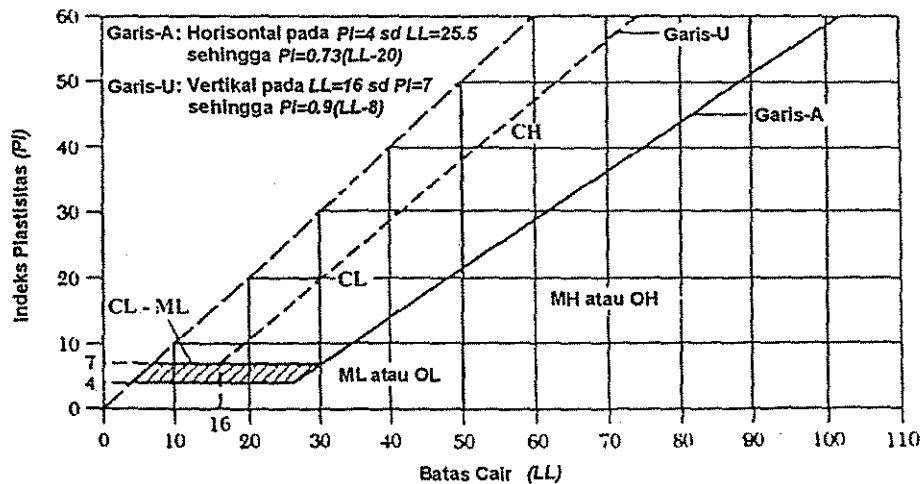
#### 4.2.1

### Tanah Inorganik Berbutir Halus

Klasifikasi tanah inorganik dan tanah organik yang berbutir halus mengikuti sistem yang digunakan dalam sistem USCS untuk tanah berbutir halus, dimana tanah berbutir halus dibagi dalam sub kelompok sebagai lanau (M) and lempung (C). Lanau adalah tanah berbutir halus yang memiliki nilai Batas Cair dan Indeks Plastisitas, yang jika diperakan ke dalam grafik pada Gambar 4-1 akan terletak di bawah garis-A, sementara untuk lempung akan berada di atas garis tersebut. Kuat geser tak terdrainase (CU) untuk tanah lempung atau pemeriaan klasifikasinya dapat dilihat Tabel 4-2.

Tabel 4-2 Konsistensi Tanah Lempung

Konsistensi	Cu (kPa)
Sangat lunak	< 12,5
Lunak	12,5 – 25
Sedang	25 – 50
Kaku (stif)	50 – 100
Sangat Kaku (stif)	100 – 200
Keras	> 200



Gambar 4-1 Batas-batas Atterberg untuk Tanah Organik dan Inorganik



## 4.2.2

### Tanah Organik

Tanah organik (O) adalah tanah yang dikelompokkan sedemikian berdasarkan kandungan organiknya, yang dalam Panduan ini didefinisikan sebagai tanah yang memiliki kandungan organik antara 25 % hingga 75 %. Selanjutnya, tanah organik ini dikelompokkan lagi menjadi kelompok OL dan OH berdasarkan tingkat plastisitasnya.

## 4.2.3

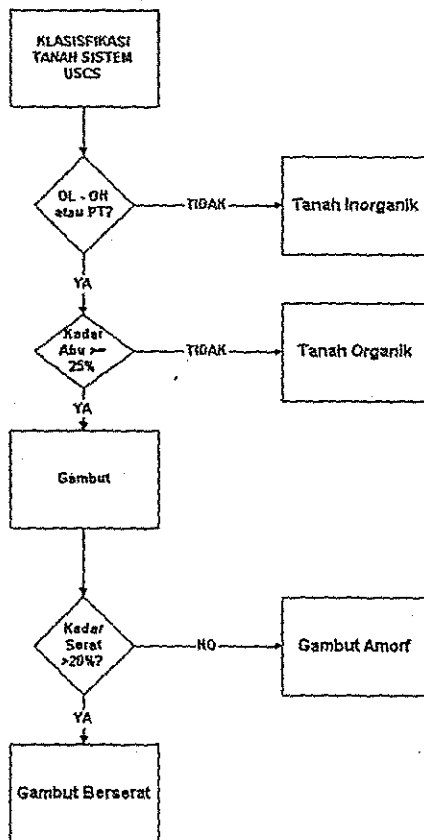
### Gambut

Gambut (PF) adalah jenis tanah yang memiliki kadar organik lebih dari 75 %. Selanjutnya berdasarkan kandungan seratnya, gambut dikelompokkan kembali menjadi dua kelompok :

Tabel 4-3 Klasifikasi Tanah Gambut berdasarkan Kadar Serat

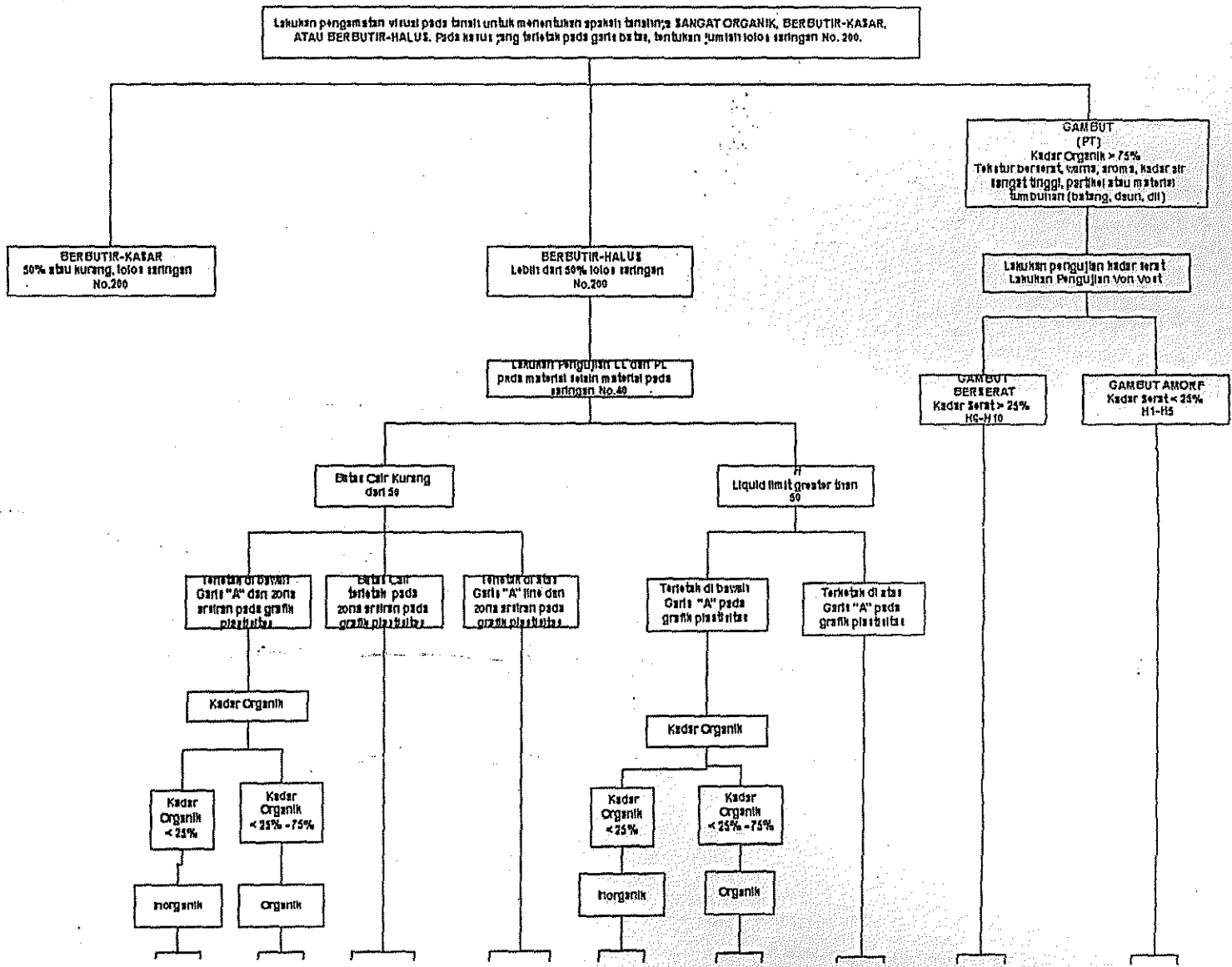
Kadar Serat	Kelompok Gambut
<20%	Amorf
>20%	Berserat (Fibros)

Sistem klasifikasi yang lengkap untuk tanah organik dan inorganik ditunjukkan pada Gambar 4-2.



Gambar 4-2 Klasifikasi Tanah untuk Lempung Inorganik, Lempung Organik dan Gambut

Gambar 4-3 Sistem Klasifikasi Tanah Lunak



Klasifikasi gambut didasarkan atas (a) kadar serat, (b) kadar abu, (c) tingkat keasaman, (d) tingkat penyerapan, (e) komposisi tumbuhan (bila diperlukan), sesuai dengan klasifikasi ASTM D 4427.

Klasifikasi dengan sistem Von Post merupakan sebuah metode yang sederhana dalam pengklasifikasian gambut atau tanah organik, sebagaimana diberikan pada Tabel 4-3 sampai Tabel 4-7 berikut :

Tabel 4-4 Sistem Klasifikasi Von Post

Derajat Pembusukan	Pemeriksaan
H1	Gambut yang sama sekali belum membusuk, yang mengeluarkan air cukup jernih. Sisa-sisa tumbuhan yang ada akan dengan mudah diidentifikasi. Tak ada material <i>amorf</i> yang terlihat.
H2	Gambut yang hampir seluruhnya belum mengalami pembusukan sama sekali, yang mengeluarkan air cukup jernih atau sedikit kekuning-kuningan. Sisa-sisa tumbuhan yang ada akan dengan mudah diidentifikasi. Tak ada material <i>amorf</i> yang terlihat.
H3	Gambut yang sangat sedikit mengalami pembusukan, yang mengeluarkan air keruh dan berwarna coklat, tapi jika diremas tak ada bagian gambut yang melalui sela-sela jari. Sisa-sisa tumbuhan yang ada masih dapat dengan mudah diidentifikasi. Tak ada material <i>amorf</i> yang terlihat.
H4	Gambut yang sedikit mengalami pembusukan, yang mengeluarkan air berwarna gelap dan sangat keruh. Jika diremas tak ada bagian gambut yang melalui sela-sela jari tapi sisa-sisa tumbuhan yang ada sedikit berbentuk seperti bubur dan telah kehilangan beberapa fitur yang dapat dikenali.
H5	Gambut yang mengalami pembusukan sedang yang mengeluarkan air sangat keruh dan jika diremas akan ada sedikit butiran gambut <i>amorf</i> melalui sela-sela jari. Struktur dari sisa-sisa tumbuhan agak sukar untuk dikenali, walaupun masih memungkinkan untuk mengidentifikasi fitur tertentu. Dan sisa-sisa tumbuhan tersebut hampir seluruhnya berbentuk seperti bubur.
H6	Gambut yang hampir separuhnya mengalami pembusukan dengan struktur tumbuhan yang sukar untuk dikenali. Jika diremas sekitar sepertiga bagian dari gambut akan keluar melewati sela-sela jari. Sisa-sisa tumbuhan tersebut hampir seluruhnya berbentuk seperti bubur dan menunjukkan struktur tumbuhan yang lebih mudah untuk dikenali dibandingkan sebelum diremas.
H7	Gambut yang lebih dari separuhnya telah membusuk. Mengandung banyak material <i>amorf</i> dan struktur tumbuhan yang sukar dikenali. Jika diremas sekitar setengah bagian dari gambut akan keluar melewati sela-sela jari. Kalaupun ada air yang keluar, akan berwarna sangat gelap.
H8	Gambut yang hampir seluruhnya telah membusuk dengan sejumlah besar material <i>amorf</i> dan struktur tumbuhan yang sukar dikenali. Jika diremas sekitar 2/3 bagian dari gambut akan keluar melewati sela-sela jari. Sejumlah kecil sisa-sisa tumbuhan akan tertinggal di tangan berupa sisa-sisa akar dan serat yang tidak membusuk.
H9	Gambut yang telah membusuk seluruhnya dimana hampir tidak ada lagi sisa-sisa struktur tumbuhan yang dapat dilihat. Jika diremas, hampir seluruh gambut akan keluar melewati sela-sela jari dalam bentuk pasta yang hampir seragam.
H10	Gambut yang telah membusuk sempurna tanpa ada struktur tumbuhan yang dapat dilihat. Jika diremas, seluruh bagian gambut yang basah akan keluar melewati sela-sela jari.

Tabel 4-5 Klasifikasi Gambut berdasarkan Tingkat Kebasahan atau Kandungan Air

Kelas	Pemeriaan
B1	Kering
B2	Kadar Air Rendah
B3	Kadar Air Sedang
B4	Kadar Air Tinggi
B5	Kadar Air Sangat Tinggi

Tabel 4-6 Klasifikasi Gambut berdasarkan Kadar Serat

Kelas	Pemeriaan
F0	Nol
F1	Rendah
F2	Sedang
F3	Tinggi

Tabel 4-7 Klasifikasi Gambut berdasarkan Kandungan Kayu

Kelas	Pemeriaan
W0	Nol
W1	Tingkat Kandungan Rendah
W2	Tingkat Kandungan Sedang
W3	Tingkat Kandungan Tinggi

Sistem klasifikasi dari ASTM tersebut harus diterapkan pada tanah gambut dalam proses penyelidikan untuk keperluan perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan jalan.

### Sistem Klasifikasi Gambut

Kelemahan dari sistem klasifikasi tanah yang ada untuk gambut dan tanah organik telah dinyatakan oleh banyak penulis. Sistem klasifikasi ASTM telah banyak dikembangkan tidak hanya untuk rekayasa sipil, tetapi juga untuk pertanian dan energi.

Klasifikasi lain telah dikembangkan di beberapa bagian negara diantaranya disebutkan oleh Jarrett (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 1997), oleh Hartlen & Wolski (1996), dan oleh Landva dkk (1983). Tie & Lim (1991) menjelaskan pula sebuah sistem klasifikasi untuk tanah organik berserat di Sarawak, di pandang dari sudut ilmu pertanian.

Alternatif-alternatif sistem ini pada dasarnya dikembangkan untuk maksud penelitian. Namun untuk keperluan investigasi gambut pada skala yang lebih besar dan kompleks, salah satu sistem yang ada tersebut dapat saja diterapkan untuk melengkapi Sistem Klasifikasi ASTM tersebut.

# 5

## Sifat Geoteknik Lempung

### 5.1

#### PENDAHULUAN

Berbagai macam mineral telah dijelaskan sebelumnya dalam kaitannya dengan pengaruhnya terhadap perubahan air pori.

Proses lain yang mempengaruhi sifat-sifat teknik dari lempung akan dijelaskan lebih jauh pada bab ini.

Seluruh proses pasca-pengendapan seperti desikasi, pembentukan kekar, pelapukan kimiawi, pelindihan dan sementasi, dapat mempengaruhi sifat-sifat lempung sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5-1.

Tabel 5-1 Pengaruh Proses Pasca Pengendapan pada Sifat-sifat Lempung (Brenner dkk, 1981)

Proses	Sifat-sifat Geoteknik								
	$w_n$	$w_l$	PI	LI	$\sigma_p'$	$C_c$	$C_u$		Sensitivitas
							Tak Terganggu	Terganggu	
Desikasi	-		□	-	+	-	+		
Pelapukan Kimiawi	□	+	+	-	+	-	+	+ or -1	+ or -1
Pelindihan	□	-	-	+	-	+	-	-	+
Sementasi		+	+		+	-	+	+2	+

+ menambah - mengurangi □ tidak mempengaruhi

1 bergantung pada tipe mineral lempung 2 bergantung pada kandungan amorfosnya

Pada bab ini, tanah lempung di Asia Tenggara dan informasi mengenai tanah lempung di Indonesia juga dijelaskan.

## 5.2

# FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PRILAKU LEMPUNG

### 5.2.1

## Pendahuluan

Brenner dkk (1981) telah mengemukakan sebuah gambaran yang jelas tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perilaku lempung. Pengaruh tersebut akan dijelaskan lebih mendalam pada bagian ini.

### 5.2.2

## Kadar Organik

Kadar organik dari lempung dan gambut pada umumnya berasal dari sisa-sisa tumbuhan yang ada di permukaan bumi. Meskipun demikian, untuk lempung dengan nilai kadar organik yang rendah, misalkan di bawah 10%, seperti yang ditemukan pada lempung estuarin dan endapan marin yang dangkal, bahan organik berasal dari sisa-sisa kulit binatang laut seperti cacing, udang, kerang-kerangan dan moluska lainnya. Paul & Barros (1999) telah mengidentifikasi adanya tipe lempung estuarin ini di daerah Bothkennar, Skotlandia, yang nilai kadar organiknya berkisar antara 2 hingga 4%.

Adapun pengaruh dari kadar organik pada tanah adalah sebagai berikut:

- meningkatkan nilai kadar air jenuh,
- meningkatkan kompresibilitas,
- meningkatkan permeabilitas.

Pada kadar organik yang rendah, nilai sifat dasar tanah dan parameter teknik lainnya, umumnya dipengaruhi oleh berbagai variasi termasuk mineralogi lempung dan variasi pasca-pengendapannya.

Hobbs (1987), menekankan bahwa kadar organik dapat ditentukan berdasarkan berat, tetapi efeknya terhadap sifat-sifat tanah itu sendiri juga akan bergantung pada volumenya. Ia menyimpulkan bahwa jika kadar organik sekitar 27% dari berat (atau sekitar 55% dari volume), maka material organik tersebut akan memberikan pengaruh yang besar terhadap sifat-sifat lempung, dan secara umum, partikel mineral akan ikut membentuk matriks bersama bahan organik.

Karena sistem klasifikasi standar yang digunakan membedakan lempung organik dengan lempung inorganik berdasarkan nilai 25% dari berat, maka akan lebih tepat untuk mengelompokkan lempung organik dengan gambut, yang akan diuraikan lebih mendalam pada bab ini.

### 5.2.3

## Pemadatan Gravitasi

Perbedaan lingkungan pengendapan akan mempengaruhi sifat-sifat teknik dari sedimen.

Pemadatan Gravitasi (*Gravitational Compaction*), merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan proses keluarnya air pori akibat bertambahnya beban yang bekerja di atasnya.

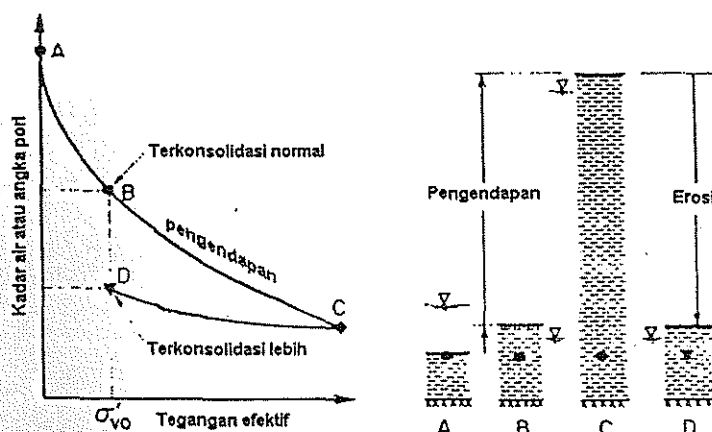
### Kecepatan Pengendapan

Pada sedimen lempung, akibat proses penambahan ketebalan lapisan yang cepat karena kecepatan sedimentasi yang tinggi, kenaikan *tekanan air pori* akan terjadi. Proses ini pada setiap strata dari lapisan akan mengurangi tekanan efektif yang mengakibatkan tanah akan terkonsolidasi secara normal. Dalam keadaan sebelumnya, lempung disebut sebagai *terkonsolidasi sebagian* atau *terkonsolidasi kurang (underconsolidated)*, yang berarti sebagian dari beban yang bekerja masih harus disalurkan pada butiran-butiran tanah.

Kecepatan sedimentasi untuk lempung pada delta yang berbeda-beda telah diteliti oleh Cox (1970), yang menyimpulkan bahwa lempung di Indonesia merupakan lempung yang sedikit *terkonsolidasi kurang*. Barry & Rachlan (2001) menyimpulkan bahwa tak ada bukti yang menunjukkan terjadinya fenomena tersebut. Data pisometer dari *instrumen kontrol* pada lokasi pengujian di Kaliwungu (pada Lampiran A) mempertegas terjadinya kondisi hidrostatik pada Lempung Holosen.

### Perubahan Angka Pori

Terzaghi (1941) menamai hubungan antara angka pori dan tekanan efektif sebagai kurva kompresi sedimen, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5-1.



Gambar 5-1. Diagram yang Menggambarkan Lempung Terkonsolidasi Normal dan Lempung Terkonsolidasi Lebih (Skempton, 1970)

Skempton (1970) menyajikan kurva untuk sejumlah besar variasi endapan lempung dari masa terkini hingga masa Pliosen. Gambar 5-1 juga memperlihatkan kurva kompresi sedimen pada skala aritmatik.

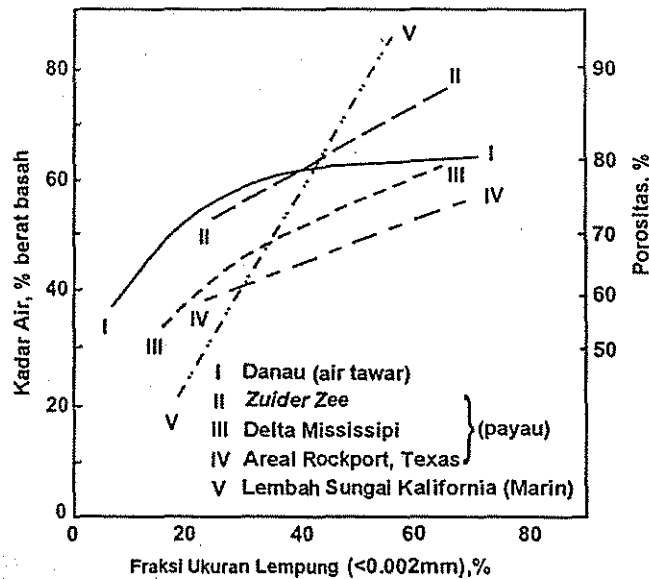
Untuk membuat sebuah kurva berdasarkan endapan lempung yang ada, serta untuk memerakan nilai angka pori dan nilai tekanan efektif yang bekerja, sangat perlu untuk mendapatkan contoh tanah dari berbagai kedalaman masing-masing.

Lapisan lempung dapat dinyatakan sebagai terkonsolidasi normal, jika tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tegangan efektif di atasnya. Dan dinyatakan sebagai lempung terkonsolidasi lebih jika pernah mengalami tegangan yang lebih besar dari pada tegangan yang dialaminya saat ini, yang pada Gambar 5-1 digambarkan sebagai kurva CD.

Dalam kaitannya dengan penambahan beban yang bekerja, ada beberapa faktor yang mempengaruhi bentuk dan posisi relatif dari kurva kompresi sedimen tersebut, yaitu ukuran butir, tipe mineral lempung, kation terserap, tingkat konsentrasi garam dalam air pori, tingkat keasaman, dan ada atau tidaknya fosil-fosil mikro (Rieke & Chilingarian, 1974).

Salinitas dari air pori lebih diketahui dapat berkurang dengan cepat dengan adanya kenaikan tekanan beban.

Gambar 5-2 berikut, memperlihatkan bahwa kadar air atau porositas mula-mula, akan dipengaruhi oleh lingkungan pengendapannya.



Gambar 5-2 Korelasi antara Kadar Air dan Fraksi Lempung pada Lingkungan Pengendapan yang Berbeda (Muller, 1967)

Proses sedimentasi dari lempung lunak yang terjadi pada air asin berlangsung dengan kecepatan yang tinggi. Menurut Cox (1972), kecepatan sedimentasi untuk Indonesia berkisar antara 120 hingga 300 cm per 1.000 tahun.

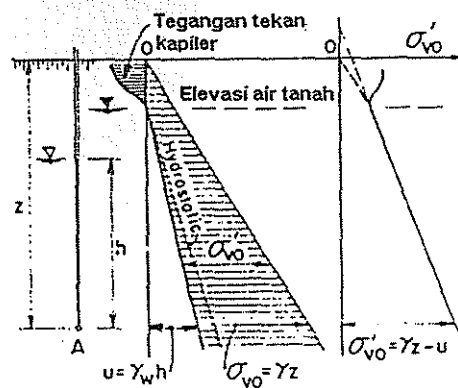


Lingkungan air asin menimbulkan endapan yang memiliki orientasi khusus terhadap struktur flokulasi. Efek gabungan dari flokulasi dan kecepatan yang tinggi dari proses sedimentasi ini menghasilkan sebuah formasi yang sangat terbuka dan sebuah struktur yang tak stabil, yang selanjutnya akan memiliki kadar air yang sangat tinggi.

## 5.2.4

### Desikasi (Pengeringan)

Tanah yang berada dekat di bawah permukaan akan mulai mengering bila permukaan endapan sedimen kondisi terbuka dan berhubungan langsung dengan udara. Air akan merembes dari lapisan tanah yang lebih dalam menuju ke permukaan secara kapiler disebabkan oleh kehilangan sejumlah air akibat proses evaporasi (penguapan). Efek kapiler ini timbul karena berkurangnya tekanan air pori sampai menjadi negatif, yang lebih jauh menyebabkan terjadinya kenaikan tegangan efektif seperti diperlihatkan pada Gambar 5-3 berikut.



Gambar 5-3 Distribusi Tipikal dari Tekanan Total, Tekanan Pori dan Tekanan Beban Lebih yang bekerja pada Endapan Lempung Lunak (Skempton, 1970)

Kenaikkan tegangan efektif ini menyebabkan terjadinya konsolidasi dan lebih jauh mengakibatkan terjadinya peningkatan kuat geser dari tanah (Tabel 5-2).

Tabel 5-2 Klasifikasi Lempung Lunak (Bjerrum, 1972)

	Klasifikasi	Kadar Air	Kuat Geser	Kompresibilitas
Lempung yang mengalami pelapukan pada kerak bagian atas	Lempung yang mengalami proses pembekuan dan proses pengeringan	$w_n \approx PL$	Sangat keras, retak, dengan celah terbuka	-
	Lempung yang mengalami proses pengeringan	$w_n \approx PL$	Sangat kaku (stif), retak-retak	Kompresibilitas rendah
	Lempung yang mengalami pelapukan	$PL < w_n < LL$	Kuat geser menurun terhadap kedalaman	Kompresibilitas rendah, kurva e-log $\sigma'$
Lempung yang tidak mengalami pelapukan	Lempung muda yang terkonsolidasi normal	$w_n \approx LL$	$s_u \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman	$\sigma'_{vc} = \sigma'_{vo}$
	Lempung tua yang terkonsolidasi normal	$w_n \approx LL$	$s_u \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman	$\sigma'_{vc} \approx \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman
	Lempung muda yang terkonsolidasi normal dengan cepat	$LL < w_n$	$s_u \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman	$\sigma'_{vc} = \sigma'_{vo}$
	Lempung tua yang terkonsolidasi normal dengan cepat	$LL = w_n$	$s_u \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman	$\sigma'_{vc} / \sigma'_{vo}$ konstan terhadap kedalaman

## 5.2.5

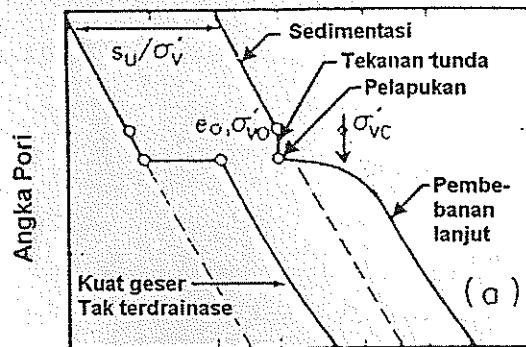
### Pelapukan Kimiawi

Pelapukan didefinisikan sebagai seluruh proses yang menyebabkan disintegrasi struktural dan dekomposisi dari material geologi akibat pengaruh langsung dari hidrosfer dan atmosfer. Disintegrasi yang dimaksudkan disini adalah kerusakan fisik dari struktur material, dan dekomposisi adalah perubahan kimia dari unsur-mineral utama dan material massa dasar (Kenney, 1975).

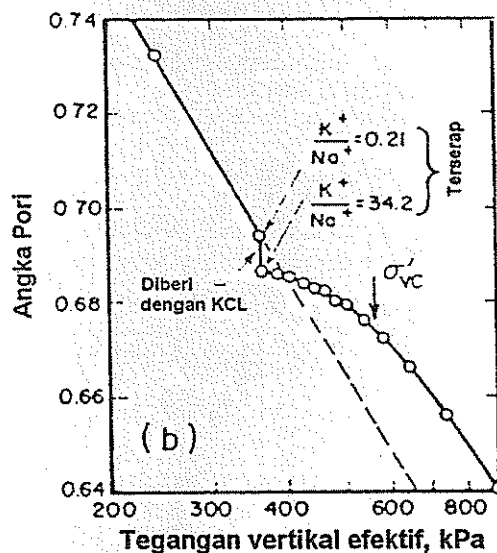
Dalam pengamatan terhadap kadar air dan distribusi kuat geser di sekitar lubang akar dari profil lempung yang terjadi akibat proses pelapukan di Oslo, Mowm dkk (1957) menemukan bahwa pada lubang-lubang akar dan celah-celah tanah, air permukaan yang mengandung oksigen terlarut akan masuk relatif lebih dalam ke dalam profil tanah. Oleh karena itu, kerak lapuk dari lapisan lempung yang stif dengan kuat geser yang lebih tinggi akan terdapat di sekitar lubang-lubang akar tersebut.

Dengan menggunakan data dari peneliti lainnya, Michell (1976) menemukan bahwa ada hubungan spesifik antara sensitivitas dan prosentase kation bervalensi tunggal (monovalen,  $Na^+ + K^+$ ) di dalam air pori, dimana terdapat kuat geser remasan yang lebih rendah (atau sensitivitas yang lebih tinggi) yang diakibatkan oleh kenaikan prosentase kation monovalen dalam air pori dibandingkan dengan air laut.

Bjerrum (1967) menjelaskan efek pelapukan terhadap kuat geser dan kompresibilitas, dimana kuat geser dan kompresibilitas akan menurun akibat proses pelapukan tersebut sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 5-4 berikut.



Kuat geser dan tegangan vertikal efektif (skala logaritma)



Gambar 5-4 Pengaruh Pelapukan terhadap Kuat Geser dan Kompresibilitas dari Lempung Terkonsolidasi Normal  
 (a) Prinsip Umum  
 (b) Hasil Test Laboratorium pada Lempung Kurus dari Drammen (Bjerrum, 1967)

## 5.2.6

### Sementasi

Sementasi merupakan sebuah proses diagenetik, dan proses terjadinya akan bergantung pada material yang ada selama proses sedimentasi dari lempung. Oleh Bjerrum (1967), telah disebutkan bahwa lempung yang tersemen adalah lempung yang mengandung partikel yang disatukan dengan ikatan yang kuat, yang berbeda dengan ikatan hasil gesekan dan kohesi efektif seperti pada lempung yang tidak tersemen.

Sementasi struktural direfleksikan oleh kuat tarik yang cukup signifikan, atau oleh kohesi yang besar. Pada tegangan yang rendah, proses sementasi akan meningkatkan kuat geser, dan titik puncak dari kurva tegangan-regangan akan tercapai pada regangan yang kecil, yang menunjukkan sebuah perilaku material getas.

Kekuatan ikatan dari proses sementasi ini tidak bergantung pada tekanan normal efektif, sehingga kuat tarik tidak dianggap menjadi penting. Faktor yang paling berpengaruh dalam proses sementasi adalah sensitivitas, dimana proses sementasi ini akan meningkatkan kuat geser tidak terganggu. Jika pada lempung terdapat material *amorf* dalam jumlah yang besar, maka kuat geser remasan akan meningkat, karena material tersebut bersifat seperti material pengental sebagai akibat dari aktivitas kimianya dan memiliki permukaan area yang lebih luas dibanding pada bahan kristalin.

## 5.2.7

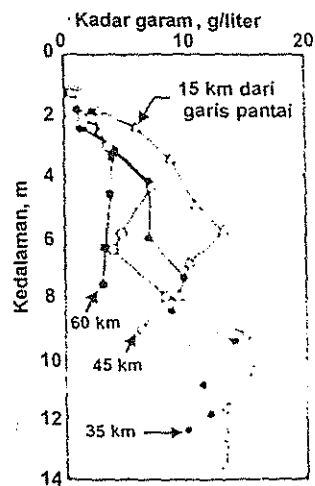
### Pelindihan Air Tawar

Pelindihan dapat didefinisikan sebagai sebuah proses pengambilan material dalam larutan (misalkan garam) dari suatu bagian dalam profil tanah karena gradien hidrolik atau oleh difusi.

Peristiwa geologi yang mempunyai peran dalam pelindihan dari endapan lempung lunak akan mulai terjadi ketika endapan tersebut menjadi lahan yang kering, walaupun demikian, Rosenqvist (1953) juga menganggap bahwa proses pelindihan ini dapat pula terjadi di daerah endapan bawah air (sub akuatik) dekat pantai, bila air tanah bercampur dengan air asin secara pelan-pelan.

Berdasarkan penelitian di Lembah Drammen, Bjerrum (1967) menjelaskan bahwa ketersediaan akan air tawar sangat dibutuhkan dalam proses pelindihan ini. Air tersebut dapat saja berupa infiltran ke dalam tanah melalui permukaan, maupun air tanah (artesis) yang bergerak ke atas secara perlahan. Oleh karenanya proses pelindihan ini sangat berhubungan dengan proses pelapukan kimiawi.

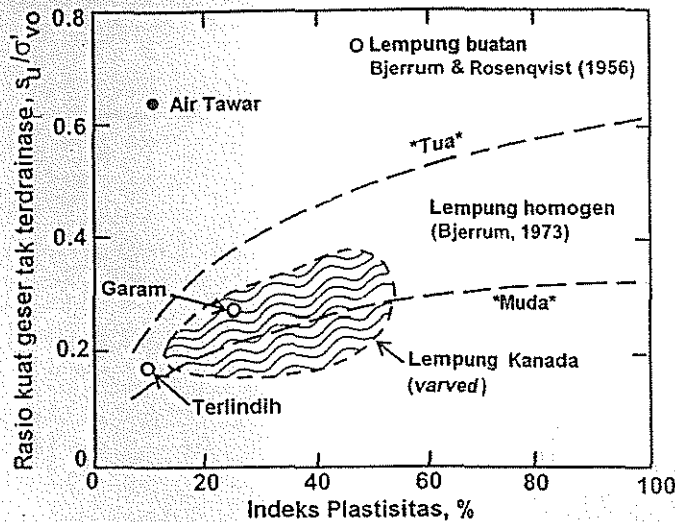
Pada endapan lempung lunak yang terdapat pada delta yang datar di dataran Asia Tenggara, proses pelindihan ini sebagian besar disebabkan oleh adanya air hujan dan oleh luapan banjir dari air sungai. Oleh karenanya kadar garam di dekat permukaan akan rendah dan cenderung bertambah terhadap kedalaman; kadar garam juga akan semakin rendah dengan penambahan jarak terhadap garis pantai yang ada. Gambar 5-5 berikut memberi gambaran fenomena tersebut untuk kasus Lempung Bangkok.



Gambar 5-5 Variasi dari Kadar Garam pada Lempung Lunak Bangkok terhadap Kedalaman untuk beberapa Jarak terhadap Garis Pantai yang Berbeda

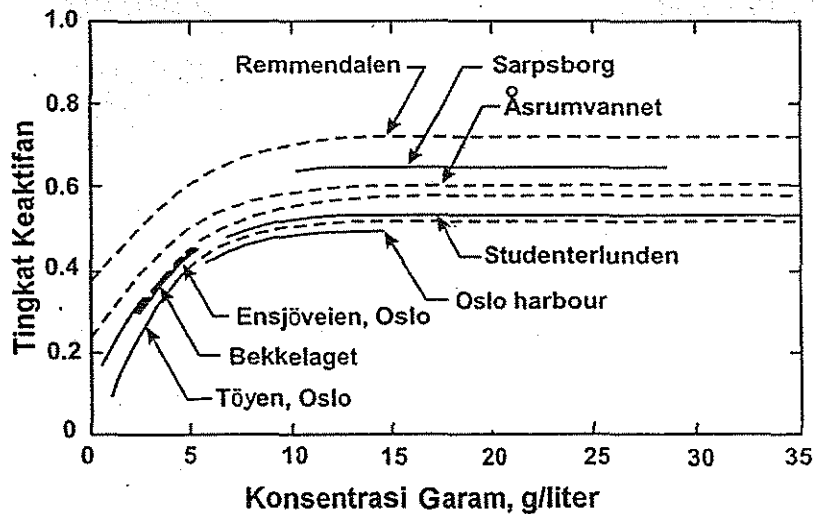
Di beberapa negara telah dilakukan penyelidikan laboratorium yang komprehensif terhadap proses pelindihan lempung sedimen buatan untuk mengetahui pengaruh pelindihan pada sensitivitas. Beberapa hasil yang penting, disimpulkan sebagai berikut:

Berdasarkan percobaan pada lempung marin yang terdapat di Asrum yang memiliki konsentrasi kadar garam alami pada tekanan pori sebesar hanya 0.05 g liter, Bjerrum & Rosenqvist (1956) menyimpulkan bahwa berkurangnya kuat geser tak-terganggu dan tak-terdrainase mungkin disebabkan oleh adanya kenaikan dari parameter tekanan pori,  $A_f$ . Karena lempung yang telah mengalami pelindihan menunjukkan fabrik yang tidak stabil, maka dimungkinkan bahwa tegangan geser tersebut dapat menyebabkan terjadinya keruntuhan parsial dan menimbulkan tekanan pori yang tinggi dan pengurangan kuat gesernya. Pengaruh dari proses pelindihan ini pada kuat geser tak-terganggu dapat dilihat pada Gambar 5-6.



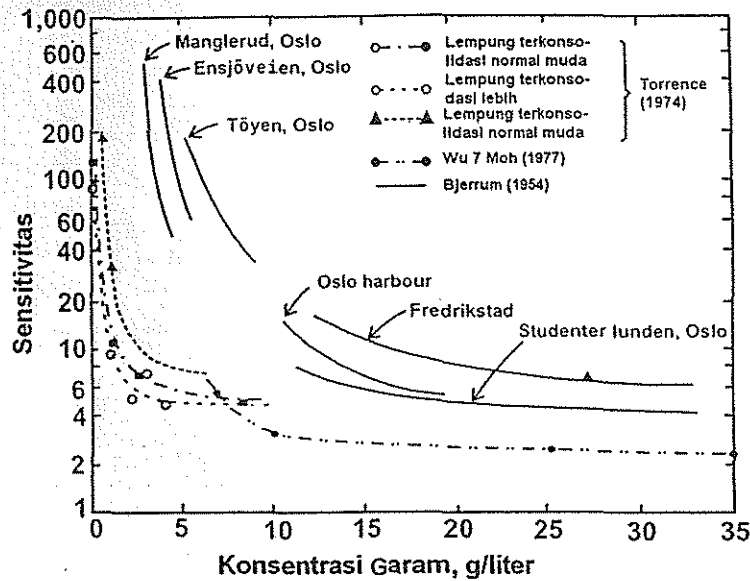
Gambar 5-6 Variasi Rasio Kuat Geser dengan Plastisitas untuk Lempung Marin dan Lempung Danau Glial yang Terkonsolidasi Normal dan Taktersementasi (Kenney, 1976)

Skempton & Northey (1952) menemukan untuk Lempung Shellhaven pada muara Thames, bahwa nilai batas cair dan kuat geser terganggu akan berkurang dengan proses pelepasan kandungan garam, sementara kadar air dan kuat geser tak terganggu semula praktis tak berubah. Konsekuensinya, indeks cair dan sensitivitas akan bertambah. Mereka juga menemukan bahwa kuat geser remasan merupakan fungsi unik dari nilai indeks cair.



Gambar 5-7 Pengaruh Pelindihan terhadap Tingkat Keaktifan dari Lempung Norwegia (Bjerrum, 1954)

Berdasarkan penelitiannya pada lempung Norwegia, Torrance (1974) menyimpulkan bahwa nilai batas cair akan mulai berkurang hanya ketika salinitasnya berkurang hingga mencapai kurang dari 5g/liter, dan penurunan yang tajam akan terjadi ketika kadar garam berkurang menjadi di bawah 2g/liter. Fenomena yang sama untuk nilai sensitivitas, dapat dilihat pada Gambar 5-8.



Gambar 5-8 Pengaruh dari Pelindihan terhadap Sensitivitas dari Lempung Norwegia dan Lempung Bangkok

Woo & Moh (1977) mengindikasikan sebagaimana terlihat pada Gambar 5-8, bahwa untuk Lempung Bangkok, sensitivitas akan mulai bertambah setelah kadar garam berkurang menjadi sekitar 10 g/liter. Akan tetapi, Lempung Bangkok ini memiliki kandungan mineral yang berbeda dengan Lempung Norwegia, karena Lempung Bangkok ini tersusun atas 45% kaolin, 15 hingga 20% ilit dan 35 hingga 40% monmorilonit.

Sementara itu, Ting & Ooi (1977) menampilkan data tanah lunak dari pantai barat Jazirah Malaysia, dimana untuk contoh tanah yang dicuci di laboratorium, nilai sensitivitasnya tidak akan melebihi angka 20, walaupun kadar garamnya cukup rendah yaitu sekitar 1 g/liter.

Sebagai sebuah perbandingan, Tabel 5-3 berikut menggambarkan beberapa harga tertentu dari pengaruh kadar garam terhadap nilai batas cair, kuat geser remasan dan sensitivitas dari lempung alami yang terdapat di Norwegia dan Kanada.

Tabel 5-3 Beberapa Data dari Lempung Norwegia dan Kanada

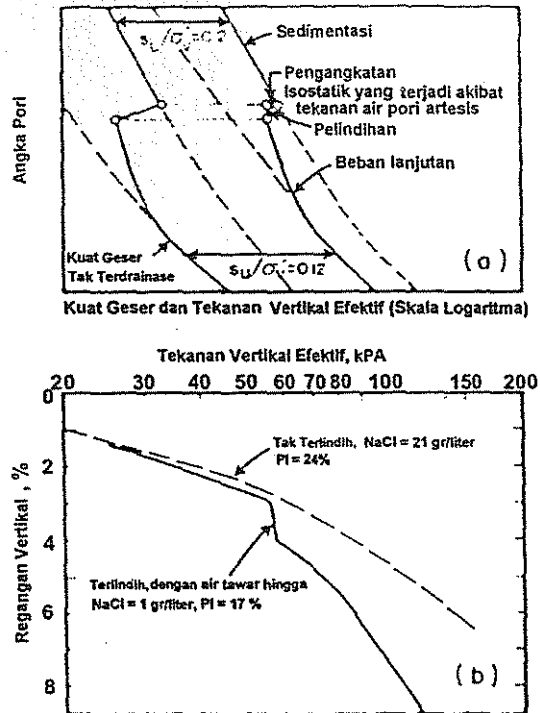
Parameter	Lempung Drammen (Norwegia) *		Lempung Leda (Kanada) **	
	Strangate	Engene	Ottawa	Chelsea
Kadar Air Alami, %	35	31	69	55
Batas Cair, %	37	22	60	31
Indeks Plastisitas, %	19	4	-	-
Fraksi < 2 $\mu$ m, %	36	35	64	45
Kadar Garam, g/liter	15	< 1	1.5	0.34
Kuat Geser remasan,	1.2	0.1	2.1	< 0.1
Sensitivitas	10	80	10-20	> 200

\* Sumber data, Kazi & Mowm (1973) \*\* Sumber data, Torrance (1975)

Bjerrum (1973) juga menyatakan bahwa proses pelindihan ini tidak saja menyebabkan pengurangan terhadap kuat geser tak terganggu, tetapi juga

meningkatkan kompresibilitas yang lebih jauh menyebabkan terjadinya penurunan yang besar. Fenomena ini merupakan pengaruh dari pengurangan tekanan kritis.

Gambar 5-9 berikut mengilustrasikan prinsip-prinsip pertambahan kompresibilitas akibat proses pelindihan pada Lempung Norwegia yang dimaksud. Gaya angkat isostatik dan bertambahnya tekanan pori di awal akan menyebabkan penurunan yang kecil pada tekanan efektif. Setelah penurunan kadar air yang dimaksud tercapai, kompresibilitas akan berkurang menjadi 'normal' dan akan konsisten terhadap plastisitas dari lempung tersebut (Bjerrum, 1967).



Gambar 5-9 Pengaruh dari Proses Pelindihan pada Kuat Geser dan Kompresibilitas  
 (i) Prinsip Umum  
 (ii) Hasil dari Percobaan Pelindihan di Laboratorium dengan Lempung Jelek dari Drammen, Norwegia (Bjerrum, 1967)

Kazi & Moum (1973), menemukan bahwa penurunan yang terjadi selama proses pelindihan tersebut, bukan disebabkan oleh perubahan struktur yang signifikan. Perubahan orientasi dari partikel lempung apung Norwegia disebabkan oleh pemampatan yang terlambat terhadap proses pelindihan tersebut. Pelindihan akan mempengaruhi gaya antar partikel tetapi bukan struktur flokulasinya.

Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa, pengurangan salinitas atau pelindihan dari air pori, memainkan peranan yang penting terhadap terjadinya pengurangan yang signifikan terhadap nilai batas cair, dan indeks plastisitas yang selanjutnya



akan meningkatkan indeks cair, dan mengurangi nilai kuat geser remasan serta meningkatkan sensitivitasnya.

### 5.3

## KONDISI DI ASIA TENGGARA

Perbedaan sifat lempung di antara negara-negara di Asia Tenggara disebabkan oleh antara lain:

- a) perbedaan batuan induk. Terutama karena adanya perbedaan asal batuan vulkanik dan batuan beku, dan
- b) pengaruh dari proses pelindihan. Hal ini ditunjukkan dengan perubahan sifat tanah karena perbedaan jaraknya dari pantai.

Umumnya, endapan lempung lunak berasal dari endapan laut dan memiliki ketebalan sekitar 30 m. Lempung di wilayah ini dikenal dengan sifat-sifatnya yang memiliki plastisitas sangat tinggi; nilainya berkisar antara 80-100, dan hal ini mengakibatkan lempung ini memiliki sifat yang khusus. Lempung di wilayah ini umumnya merupakan lempung yang terkonsolidasi normal atau sedikit di atas terkonsolidasi lebih (nilai rasio terkonsolidasi lebih/OCR berkisar antara 1 hingga 1.6). Hal ini menyebabkan tanah ini memiliki kuat geser yang rendah, dan akan menimbulkan masalah stabilitas dalam pelaksanaan pekerjaan timbunan. Sementara itu nilai kompresibilitas yang tinggi yang berkaitan dengan nilai OCR yang rendah serta kadar organik sebesar 2% hingga 5%, akan menyebabkan terjadinya penurunan yang besar pada setiap kegiatan yang berhubungan dengan bangunan teknik sipil.

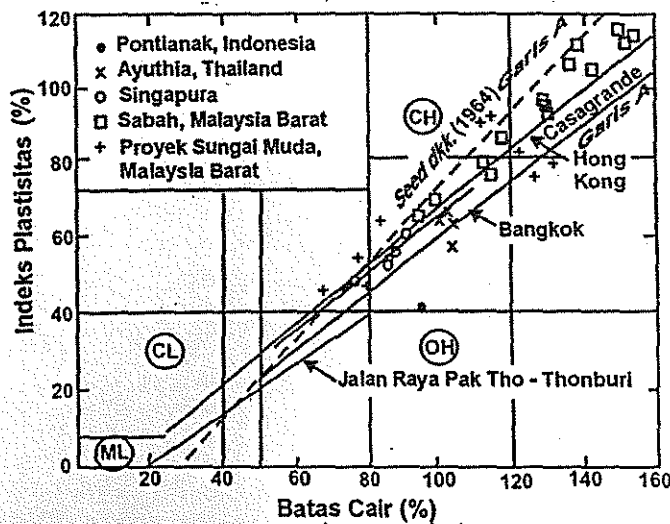
Penelitian yang dilakukan oleh Kobayashi dkk. (1990) menunjukkan bahwa tanah yang terletak pada wilayah pantai di Singapura, Malaysia dan Indonesia, mempunyai sifat mekanis yang sama sepanjang distribusi ukuran butir dan plastisitasnya juga memperlihatkan kesamaan.

Beberapa aktivitas konstruksi yang cukup besar telah dilakukan di areal yang terdiri dari lempung marin Singapura, yang didominasi Formasi Kallang, yaitu sebuah endapan resen di Singapura. Menurut Cox (1968), mineral lempung yang sangat dominan pada lempung marin di Asia Tenggara adalah ilit. Pengamatan secara umum terhadap karakteristik plastisitasnya yang dilakukan oleh Lim (1982) untuk lempung marin Singapura bagian atas, yang sering ditunjukkan dengan nilai indeks plastisitasnya (PI), menunjukkan hasil yang memperkuat pendapat tersebut, yaitu lempung marin terdiri dari unsur ilit murni (PI = 58%). Kadar lempung umumnya berkisar antara 55% hingga 65% dan nilai aktivitasnya berkisar 0.95. Sementara Cox (1968) melaporkan bahwa berat jenisnya berkisar antara 2.63 hingga 2.64 dan kadar organiknya berkisar 3% hingga 5%.

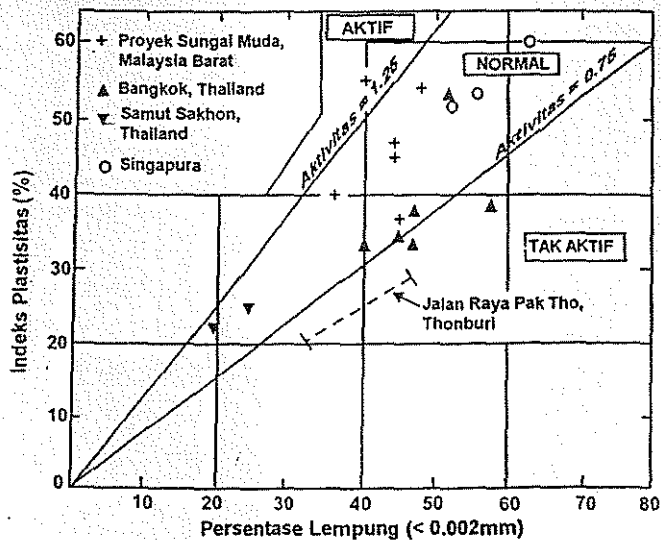
Lempung marin bagian atas umumnya berwarna abu-abu hingga abu-abu tua, terdiri atas bahan organik dan potongan-potongan kulit kerang. Lempung ini

bersifat sangat plastis (memiliki nilai  $LL = 76-101$ ,  $PI = 45-69$ ). Kadar air umumnya berada antara 60% hingga 92% dan nilai indeks cairnya berada diantara 0.54 hingga 1.02. Sementara nilai berat isi asli rata-rata berkisar  $16.3 \pm 0.5 \text{ kN/m}^3$ , dan sensitivitasnya bervariasi dari 3 hingga 6.

Lempung marin muda yang terletak di daerah datar dan delta sungai di Asia Tenggara pada umumnya bersifat lunak dan kompresibel. Walaupun dikatakan bahwa unsur mineral yang dominan pada lempung di Bangkok seperti di Singapura adalah ilit, tetapi kaolin dan monmorilonit juga ditemukan. Eide (1968) melaporkan bahwa unsur mineral lempung yang utama adalah klorit dan ilit dengan sedikit monmorilonit, sementara kadar garamnya berkisar 34 g/liter. Kadar organik pada lempung ini bervariasi dari 3% hingga 5%, dan kadar garam pada lapisan bawah dari lempung marin ini lebih tinggi dibanding pada lapisan bagian atasnya yang lapuk. Nilai sensitivitas dari lempung marin di Asia Tenggara dapat saja tinggi, kadang ditemukan hingga mencapai angka 8, tetapi lempung apung (*quick clays*) tidak ditemukan pada wilayah ini. Kadar air terletak pada kisaran 50% hingga 100%, walaupun nilai 100% hingga 150% lebih umum ditemukan dan biasanya berhubungan dengan kadar organik yang lebih tinggi. Sementara indeks cair dari lempung ini kadang mendekati satu, dan nilai kadar air hampir mendekati atau melebihi nilai batas cair. Indeks cairnya umumnya akan berkurang terhadap kedalaman. Ketika diperakan pada diagram *plastisitas*, nilai batas Atterberg dari Lempung Bangkok demikian juga dengan lempung dari wilayah Asia Tenggara yang lain, akan berada di atas Garis A (*Cassagrande*) kecuali untuk lempung yang berumur muda. Pada sistem USCS, lempung ini dikelompokkan sebagai CH. Umumnya lempung di wilayah Asia Tenggara memiliki tingkat keaktifan dalam kisaran normal, sebagaimana diperlihatkan pada gambar berikut ini:



Gambar 5-10 Grafik Plastisitas untuk Lempung Resen di Asia Tenggara (menurut Balasubramaniam dkk., 1985)



Gambar 5-11 Tingkat Keaktifan dari Lempung Resen di Asia Tenggara (dari Balasubramaniam dkk, 1985)

Profil tanah pada pantai timur dan barat Malaysia pada sebagian besar lapisannya terdiri dari lempung lunak, lempung stif, lempung kepasiran dan pasir. Pada daerah pantai bagian barat, ketebalan lapisan lunak bervariasi antara 5 hingga 10 m; seperti ditemukan pada Proyek Stasiun Pembangkit Port Klang. Lempung lunaknya umumnya berwarna abu-abu dan bersifat seperti lempung marin umumnya, dipertegas dengan adanya sisa-sisa kulit kerang yang ditemukan di sebagian besar lokasi. Lapisan lempung lunak ini umumnya terletak di atas lempung kenyal dan pada lapisan yang lebih dalam lagi terletak di atas lapisan pasir, sementara pada beberapa tempat terletak di atas lapisan batuan yang mempunyai komposisi dan proses pelapukan yang bervariasi. Seperti daerah lainnya di Asia Tenggara, penyebaran lateral dari lempung lunak ini paling besar terdapat di dekat sungai-sungai utama dan ketebalannya cenderung menipis apabila semakin jauh letaknya dari garis pantai. Perbedaan yang tampak dapat terlihat pada profil tanah sepanjang garis pantai bagian timur, jika dibandingkan dengan pantai bagian barat dari Jajarah Malaysia. Pada pantai bagian timur, lapisan pasir sangat halus hingga halus akan ditemukan di atas lapisan lempung, kecuali yang terlihat di areal Proyek Pelabuhan Kuantan dan areal Proyek Kemasin-Semarah di Kelantan.

Kadar organik dari lempung pada beberapa lokasi di Jajarah Malaysia bervariasi antara 22.5% hingga 1.5% pada lapisan di atas 7 m, dan ditemukan bahwa, walaupun hingga kedalaman 20 m, nilainya dapat mencapai sekitar 10%. Hal ini menjelaskan akan anggapan umum bahwa lempung pada bagian utara belahan bumi (*Northern Hemisphere*) yang memiliki suhu dingin, memiliki kadar organik yang lebih rendah dibanding dengan daerah di Asia Tenggara yang memiliki suhu lebih hangat.

Cox (1968) menemukan bahwa nilai rata-rata salinitas dari air laut di dekat pantai Asia Tenggara akan lebih rendah dibanding dengan nilai yang ditemukan pada tempat-tempat lain. Ting dan Ooi (1977) juga menemukan bahwa

konsentrasi kadar garam pada lempung dari Jasirah Malaysia umumnya meningkat terhadap kedalaman, kecuali untuk endapan aluvial dimana konsentrasinya akan lebih tinggi pada daerah dekat permukaan. Ting dan Ooi (1977) juga melaporkan bahwa konsentrasi kadar garam tertinggi pada lokasi di Penang mencapai 30 hingga 40 g/liter untuk contoh yang diambil pada kedalaman 3 hingga 7 m.

Meskipun demikian, Cox (1968), mengatakan bahwa konsentrasi kadar garam seharusnya tidak boleh melebihi 30 hingga 32 g/liter. Sifat-sifat indeks yang lain seperti kadar mineral, tingkat keaktifan dan sensitivitas dari Lempung Malaysia, memiliki perilaku yang sama dengan daerah lainnya di Asia Tenggara.

Balasubramaniam dkk. (1985) melaporkan bahwa hubungan antara berat isi jenuh dan indeks plastis untuk lempung dari Jasirah Malaysia tersebar sepanjang garis linier menurut hubungan:

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.83 - 0.54 PI \quad (\text{dalam } t/m^3)$$

Sementara itu endapan tanah di Vietnam merupakan formasi kwarter yang dibentuk oleh aktivitas terus-menerus dari laut dan sungai. Endapan tanah ini merupakan hasil dari sebuah proses transgresi dan regresi dari laut pada daerah delta selama periode geologi yang berbeda. Dari fakta ini, dapat disimpulkan bahwa tanah di Vietnam sedikit memiliki persamaan dengan daerah lainnya di Asia Tenggara.

Dari penjelasan singkat di atas, sifat teknik tanah organo-mineral lunak di Asia Tenggara dapat disimpulkan sebagai berikut (Rahadian, 1992):

Kadar air bervariasi antara 60 hingga 150%. Nilai indeks cair umumnya mempunyai kesamaan secara keseluruhan, berkurang terhadap kedalaman dan terhadap pertambahan jarak dari pantai. Platisitas relatif tinggi. Batas-batas Atterberg yang diperakan pada Diagram Platisitas Casagrande akan berada di dekat Garis A. Nilai Aktivitas-nya akan terletak antara batasan normal dan aktif. Kadar Lempung-nya bervariasi dari 35% hingga 60% yang terdiri dari mineral utama ilit, kaolin, dan monmorilonit. Mineral lempung utama pada lempung Bangkok adalah ilit, sementara untuk Singapura adalah kaolin, dan di Jasirah Malaysia adalah monmorilonit. Kadar Organik umumnya bervariasi dari 2 hingga 5%. Meskipun demikian, kadar organik di Jasirah Malaysia, dapat mencapai 22,5%. Nilai pH bervariasi dalam kisaran 3.1 hingga 8. Kadar Garam umumnya tinggi dan cenderung akan bertambah terhadap kedalaman kecuali yang berada di atas permukaan. Nilainya bervariasi antara 13 hingga 41.3g/liter. Sensitivitas bervariasi dari 1.5 hingga 18, yang berarti beberapa tanah merupakan lempung apung menengah (*medium quick clay*). Hubungan antara sensitivitas dan indeks cair dan hubungan antara sensitivitas dan kadar garam sifatnya independen (tidak saling terikat). Sementara dibanding dengan proses Pelindihan, diyakini menjadi faktor utama yang menyebabkan nilai sensitivitas seperti itu. Indeks kompresi bervariasi dari 0.02 hingga 1.5. Sementara nilai OCR-nya jarang yang melebihi 1.6 kecuali pada daerah kerak.

Pada zona ini, kuat geser tanah akan konstan atau berkurang dari permukaan ke bawah, tetapi akan meningkat secara linier pada lapisan di bawahnya. Sudut geser dalam efektif bervariasi antara 20 hingga 25° dan cenderung untuk berkurang dengan penambahan nilai indeks plastisitas.

Perlapisan lempung marin sepanjang pantai timur Sumatera lebih mendekati sifat-sifat di atas jika dibanding dengan tanah yang sama dari Jasin Malaysia dan Singapura, sehingga perbedaan lapisan yang tidak kontinyu dapat dengan jelas diidentifikasi. Sementara pada pantai utara Jawa, fitur-fitur tersebut belum terlalu banyak diamati.

Sifat-sifat teknik dasar dari tanah pantai organo-mineral di Indonesia, seperti kadar air alai, berat jenis dan berat isi, umumnya sesuai dengan tanah lunak sejenis di bagian Asia Tenggara lainnya. Walaupun ada pengaruh dari mineral vulkanik terhadap sifat-sifat teknisnya, seperti berat jenis yang rendah dan nilai sudut geser dalam yang tinggi, pengaruh tersebut akan relatif sedikit. Tanah lunak di Sumatera dan Jawa umumnya lebih bersifat kelanauan dibanding dengan tanah lainnya di Asia Tenggara. Tingkat keasaman dan sifat kimia lainnya pada umumnya seragam. Nilai-nilai batas Atterberg dari lempung marin lunak Indonesia pada umumnya juga sama dengan bagian lainnya di Asia Tenggara. Umumnya dicirikan sebagai tanah dengan sifat-sifat antara lain memiliki nilai batas cair berkisar antara 40% hingga 160%. Nilai Plastisitas umumnya berada di atas dan dekat Garis A Cassagrande atau dalam sistem USCS disebut sebagai tanah CH/OH.

Kompresibilitas dari lempung marin Indonesia ini juga cukup tinggi. Nilai indeks kompresinya bervariasi dari 0.5 hingga 2. Sementara nilai kecepatan konsolidasi laboratoriumnya agak di luar kebiasaan, yaitu sangat rendah, berkisar antara 1 hingga 5 m<sup>2</sup>/tahun. Nilai ini harus diperhatikan dengan teliti, karena beberapa pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa nilai yang ada jauh lebih tinggi dari nilai yang di dapat dari hasil laboratorium tersebut. Hal ini terjadi mungkin dikarenakan oleh pengaruh struktur butiran yang ada di lapangan dimana hal tersebut sangat sulit untuk dimodelkan secara persis sama pada kondisi pengujian di laboratorium.

Beberapa pengecualian ditemukan, yang merupakan akibat dari pengaruh yang relatif tidak diketahui yang disebabkan oleh asal usul mineral vulkanik. Lempung lunak di Paiton, Jawa Timur dan lempung lunak Lakustrin Bandung merupakan contoh dari tanah lunak organo-mineral yang karakteristik teknisnya sangat berbeda dengan tanah lunak lainnya. Pada kedua tanah lunak ini, nilai angka porinya lebih tinggi, kompresibilitasnya lebih tinggi, dan yang agak di luar kebiasaan adalah memiliki kuat geser yang lebih tinggi dan permeabilitas yang lebih tinggi pula.

Juga perlu diperhatikan disini bahwa pengambilan nilai untuk mengetahui sifat-sifat teknis dari tanah yang dikembangkan berdasarkan

korelasi data daerah beriklim sedang, harus dilakukan dengan hati-hati. Tanah lunak di negara-negara Skandinavia dan Kanada cenderung memiliki nilai sensitivitas yang lebih tinggi, kadar air dan batas cair yang lebih rendah. Hal ini disebabkan oleh perbedaan formasi geologi dan proses pelapukan yang berbeda antara kedua daerah endapan tersebut.

## 5.4

### KARAKTERISTIK LOKASI

Kesimpulan dari penelitian yang dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi terhadap karakteristik lempung untuk lempung-lempung Jakarta, Bandung dan Kaliwungu, bersama-sama dengan data yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan dari lokasi-lokasi lempung lunak lainnya seperti Belawan, Semarang, Paiton dan Surabaya, akan ditampilkan pada lampiran A.

Data lainnya dari lokasi pengujian di Kaliwungu di sebelah Barat Semarang akan dimasukkan dalam CD Panduan Geoteknik, dan data selanjutnya diharapkan akan didapatkan untuk pengamatan hingga 2002, yang dalam hal ini akan disampaikan pada laporan terpisah oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi.

## 6

# Sifat-sifat Geoteknik Gambut

### 6.1

## PENDAHULUAN

Gambut dan tanah lempung dengan kadar organik yang tinggi sangat berbeda sifatnya dengan lempung organik. Faktor yang mempengaruhi perilaku tekniknya adalah jumlah kandungan material organik serta proses terbentuknya.

Sangat sulit untuk memisahkan kedua faktor penyebab ini, oleh karenanya dalam pembahasan selanjutnya, kedua faktor tersebut akan dibahas secara bersamaan.

### 6.2

## FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERILAKU GAMBUT

### Berat Jenis

Karena tanah merupakan campuran dari tanah mineral yang umumnya memiliki nilai berat jenis 2.7, dan bahan organik dengan nilai *berat jenis* sekitar 1.4, maka dapat dikatakan bahwa berat jenis akan bergantung pada kadar organik. Hal ini telah dibuktikan oleh Skempton & Petley (1970), dalam pengamatannya pada tanah pada daerah dengan iklim sedang. Untuk tanah di Indonesia, sebuah hubungan yang sama dapat juga digunakan, tetapi diperlukan asumsi bahwa tanah tersebut memiliki *berat jenis* yang lebih tinggi, baik untuk tanah mineral maupun gambut. Rahadian dkk.(2001) menampilkan data yang menunjukkan nilai berat jenis untuk tanah mineral tersebut bervariasi antara 2.7 hingga 2.9, dan untuk gambut bervariasi antara 1.4 hingga 1.7.

### Batas Cair

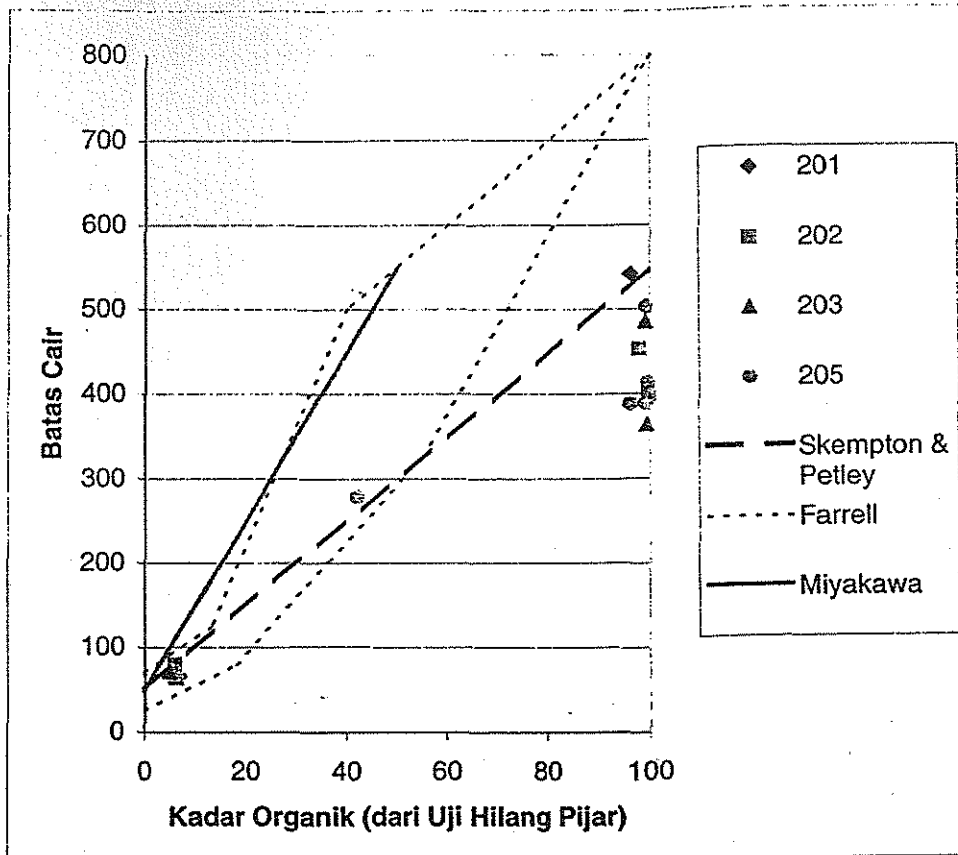
Pengujian batas cair membutuhkan peremasan tanah yang cukup. Akibatnya pabrik gambut, dan terutama kadar serat, akan jauh menurun. Oleh karenanya pengujian ini memiliki nilai yang sangat terbatas sebagai petunjuk sifat-sifat gambut, terutama gambut berserat yang ditemukan di Indonesia.

Gambar 6-1 memperlihatkan data dari Lokasi Uji Timbunan Berengbengkel (Seri Lubang Bor 200) dan membandingkannya dengan data yang lain, dalam hal ini kadar organik dari uji hilang pijar; yang untuk tujuan pengamatan ini

kehilangan berat akibat pembakaran diasumsikan sama dengan kadar organik yang kurang lebih cukup tepat.

Beberapa hasil uji untuk lempung inorganik dan lempung organik mendekati hubungan yang diberikan oleh Skempton & Petley (1970), sementara contoh tanah gambut murni memperlihatkan nilai-nilai di bawah yang diberikan oleh Skempton & Petley.

Data dari Farrell dkk. (1994) cocok dengan data Berengbengkel untuk lempung organik, tetapi untuk kadar organik yang tinggi memperlihatkan batas cair yang jauh lebih tinggi. Farrell dkk. juga memperlihatkan suatu hubungan dari Miyakawa, yang tidak cocok dengan data Berengbengkel.



Gambar 6-1 Hubungan antara Pengujian Indeks terhadap Kadar Organik (pada Uji Hilang Pijar)

### Kompresibilitas

Farrell dkk. (1994) memperlihatkan bahwa untuk gambut Irlandia kompresibilitas  $C_c$  mempunyai hubungan dengan batas cair sesuai dengan persamaan yang sudah dikenal:

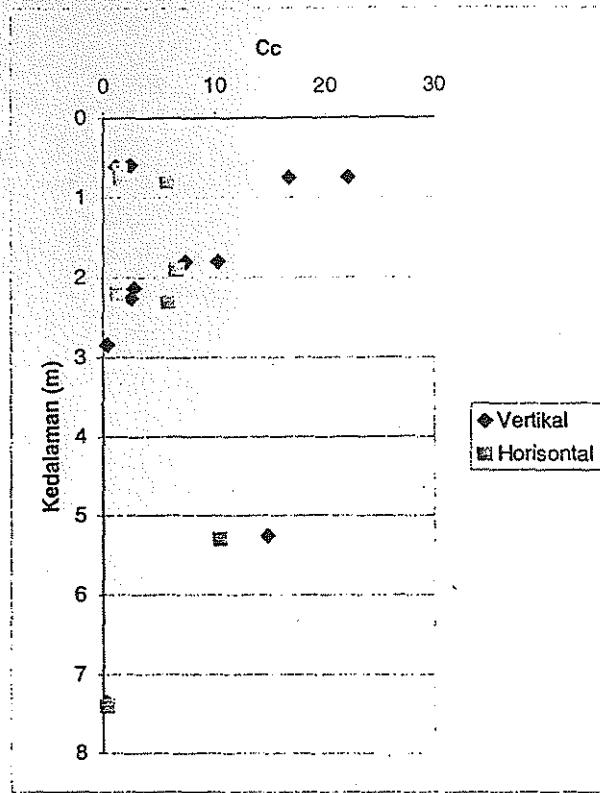
$$C_c = k (LL-10)$$

Dengan nilai  $k$  berkisar antara 0,007 sampai 0,009



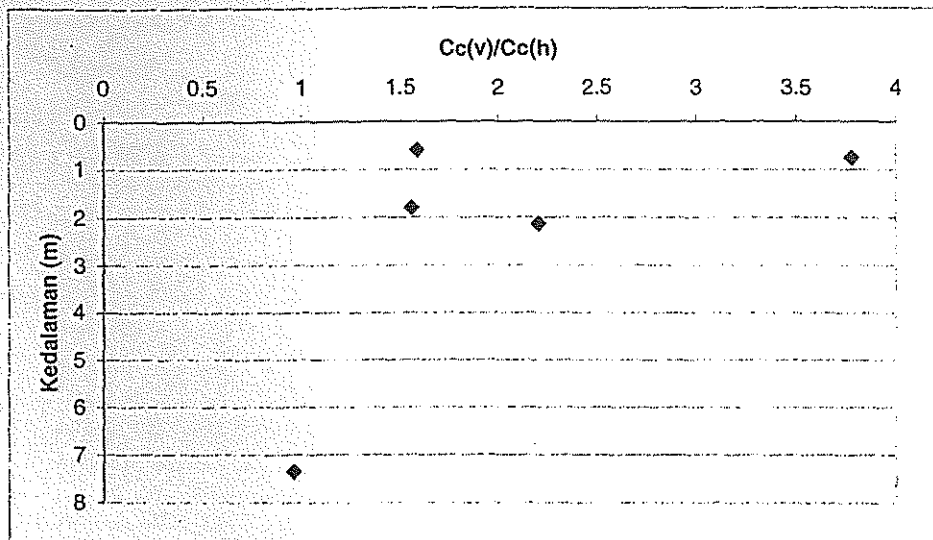
Untuk gambut berserat hubungan seperti itu tidak bisa diterapkan.

Uji konsolidasi pada gambut berserat dari Lokasi Uji Timbunan Berengbengkel memperlihatkan nilai-nilai  $C_c$  sampai 20 seperti terlihat pada Gambar 6-2.



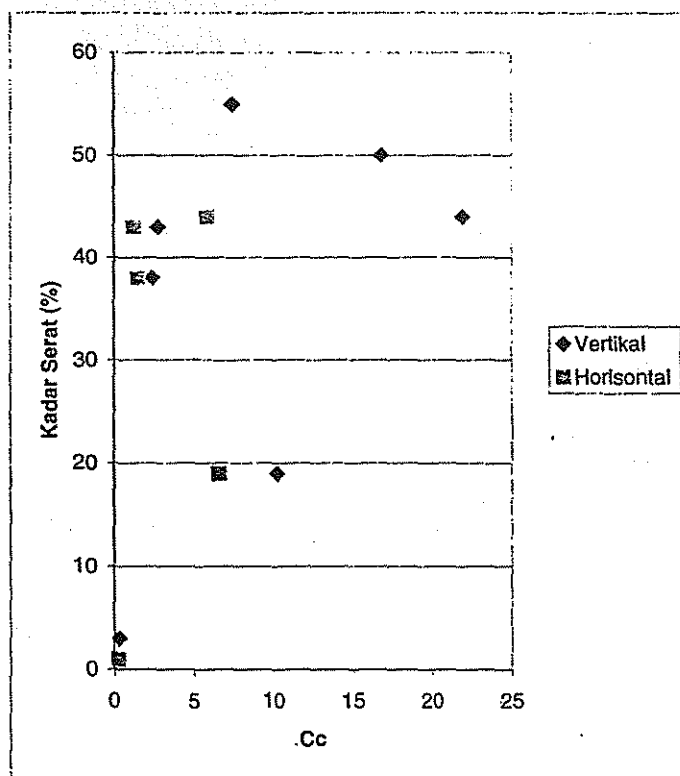
Gambar 6-2 Data Uji Odometer dari Berengbengkel

Contoh Tanah yang diuji arah horisontal memperlihatkan kompresibilitas yang sangat rendah seperti ditunjukkan pada Gambar 6.3. Dengan mengabaikan nilai pada kedalaman lebih dari 7 m yang menunjukkan kompresibilitas yang sangat rendah, gambut kurang lebih dua kali lebih kompresibel ke arah vertikal dibandingkan ke arah horisontal, yang cenderung mendukung pendapat bahwa gambut-gambut ini memiliki kecenderungan serat berorientasi ke arah horisontal sebagai akibat kondisi lingkungan pada saat proses pembentukannya.



Gambar 6-3 Rasio Koefisien Kompresibilitas Vertikal terhadap Horisontal di Lokasi Berengbengkel

Kompresibilitas diharapkan memiliki hubungan dengan kadar serat, tetapi data yang terbatas yang diperlihatkan pada Gambar 6.4, tidak mendukung hal ini.



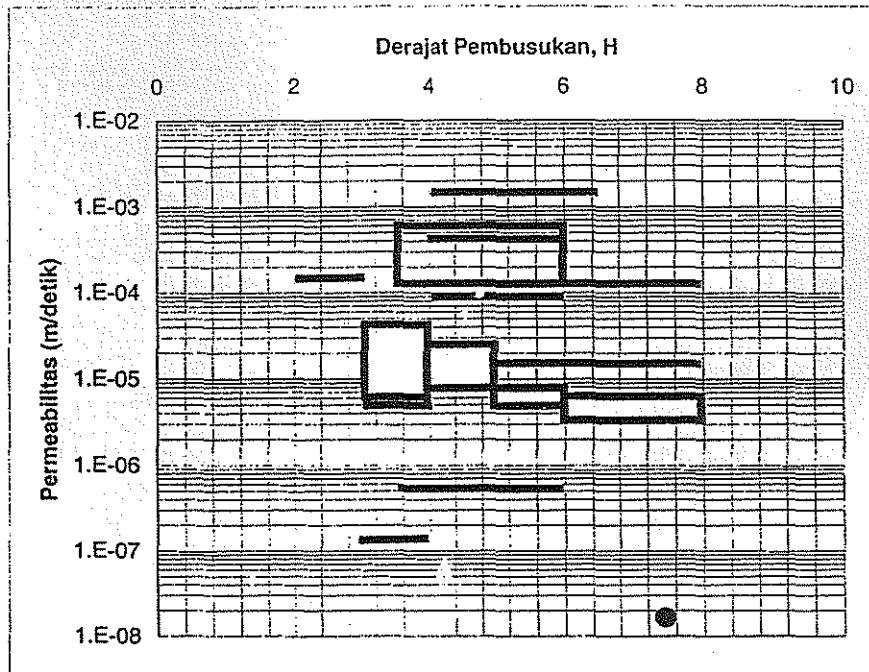
Gambar 6-4 Hubungan Kadar Serat terhadap Kompresibilitas untuk Gambut Berengbengkel.

Harus diingat nilai  $Cc$  yang tinggi tidak bisa digunakan untuk perhitungan penurunan tradisional regangan kecil, karena hal ini akan memberikan hasil

yang sangat menyesatkan. Kompresibilitas gambut akan berkurang sesuai dengan bertambahnya tegangan, meskipun begitu bagaimana gambut berserat Berengbengel berperilaku, belum dipelajari secara detail.

### Permeabilitas

Ong & Yogeswaran (1991) telah melakukan test pemompaan yang dilakukan pada gambut tropis yang berserat di Serawak. Hasilnya menunjukkan sebuah korelasi terbatas antara permeabilitas dengan derajat pembusukan yang terjadi seperti diperlihatkan pada Gambar 6-5.



Gambar 6-5 Permeabilitas dari Gambut (Ong & Yogeswaran, 1991)

Ong & Yogeswaran (1991) juga mengidentifikasi masalah penting yang dapat terjadi pada waktu uji pemampatan dalam gambut berserat dan juga menjelaskan bagaimana cara mengatasi tersumbatnya sumur untuk pemampatan.

**Tabel 6-1** Permeabilitas dari Gambut (Barry dkk, 1992)

Pemeriaan Gambut	Permeabilitas m/detik	Referensi
Permukaan	>10 <sup>-1</sup>	Hobbs (1986)
Dasar dari "raised bog" yang membusuk sedikit	3 x 10 <sup>-5</sup>	Hobbs (1986)
<i>Fen acrotelm</i> di Rusia: di dekat permukaan di dekat dasar	3 x 10 <sup>-5</sup> 6 x 10 <sup>-7</sup>	Hobbs (1986)
Lapisan Gambut Irlandia yang sangat membusuk dan bersifat seperti Agar-agar	3 x 10 <sup>-8</sup> hingga 10 <sup>-7</sup>	Hobbs (1986)
Gambut <i>Stagnum</i> H8 sampai H10 H3	6 x 10 <sup>-8</sup> 10 <sup>-5</sup>	Hobbs (1986)
Gambut <i>Sedge</i> H3 sampai H5	10 <sup>-5</sup>	Hobbs (1986)
Gambut Brushwood H3 sampai H6	10 <sup>-5</sup>	Hobbs (1986)
Gambut Malaysia yang Asam dan Berserat ( <i>Fibrous acidic</i> )	2 x 10 <sup>-5</sup> to 6 x 10 <sup>-8</sup>	Toh dkk (1990)

Barry dkk. (1992) menjelaskan pengujian permeabilitas dengan pemompaan (*permeability pumping tests*) pada lapisan yang dangkal di hutan gambut Riau (H5 sampai dengan H6) yang menghasilkan nilai permeabilitas antara 10<sup>-2</sup> hingga 10<sup>-4</sup> m/detik. Mereka juga membandingkan hasil tersebut dengan data untuk gambut yang telah dilakukan oleh para peneliti lain sebelumnya, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6-1.

## 6.3 KARAKTERISASI GAMBUT

### 6.3.1 Distribusi Penyebaran Gambut

Radjaguguk (1991) berdasarkan data dari penelitian yang dilakukan oleh Soekardi dan Hidayat mengidentifikasi areal penyebaran gambut di Indonesia sebagaimana diberikan dalam Tabel 6-2 berikut ini:

**Tabel 6-2** Daerah Gambut di Beberapa Propinsi di Indonesia (Radjaguguk, 1991)

Propinsi	Areal (1000ha)	%
Jawa Barat	25	<0.1
Aceh	270	1.5
Sumatra Utara	335	1.8
Sumatra Barat	31	<0.1
Riau	1 704	9.2
Jambi	900	4.9
Sumatra Selatan	990	5.4
Bengkulu	22	<0.1
Lampung	24	<0.1
Kalimantan Barat	4 610	24.9
Kalimantan Tengah	2 162	11.7
Kalimantan Selatan	1 484	8.0
Kalimantan Timur	1 053	5.7
Sulawesi Tengah	15	<0.1
Sulawesi Selatan	1	<0.1
Sulawesi Tenggara	18	<0.1
Kepulauan Maluku dan lainnya	20	<0.1
Irian Jaya	4600	24.9

Radjaguguk menampilkan data tersebut, berdasarkan studi yang dilakukan oleh *Euroconsult* pada tahun 1983. Sedangkan untuk ketebalan gambut pada beberapa propinsi di Indonesia dapat dilihat pada Table 6-3.

**Table 6-3** Distribusi Sebaran Gambut di Indonesia (Radjaguguk, 1991)

Propinsi	Penyebaran berdasarkan ketebalan gambut (%)			Total areal Histosol dan Tanah Bergambut (ha)
	Dangkal 0-150cm	Sedang 100-200cm	Dalam >200cm	
Riau	8.6	10.7	80.7	486339
Jambi	33.4	9.3	57.3	168 163
Sumatra Selatan	63.0	11.5	25.5	317 784
Kalimantan Barat	39.5	34.6	25.9	100 754
Kalimantan Tengah & Selatan	62.6	19.6	17.8	190 145
Total				1 263 185

Sebuah kesimpulan penting dari Table 6-3 adalah bahwa di Kalimantan, sebagian besar dari gambut yang ada memiliki ketebalan kurang dari dua meter, sementara di Sumatra sebagian besar memiliki ketebalan lebih dari dua meter. Sebagaimana akan dilihat selanjutnya, hal ini akan merupakan faktor pengaruh

utama terhadap rekomendasi strategis yang akan diterapkan untuk pembangunan jalan di masing-masing propinsi tersebut.

### 6.3.2

## Karakterisasi Daerah Gambut yang Dikembangkan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi

Karakterisasi daerah gambut telah diteliti oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi. Lokasinya meliputi Pulang Pisau di Kalimantan Tengah, Jambi di Sumatra, dan pada Lokasi Uji Timbunan di Berengbenkel, Kalimantan Tengah.

Data dari daerah-daerah ini sedang disusun dan dibandingkan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi yang nantinya akan dimasukkan ke dalam CD Panduan Geoteknik, namun beberapa kesimpulan berikut telah dapat dikemukakan.

Profil dari endapan gambut dapat bervariasi atau berbeda antara satu dengan lainnya. Data dari Pulang Pisau, Kalimantan Tengah menunjukkan bahwa endapan gambutnya terletak di atas tanah keras, sementara di areal Muara Sabak, Jambi, terletak di atas lapisan tanah lunak. Demikian pula dengan ketebalan dari endapan gambut tersebut, juga bervariasi antara satu dengan lainnya. Ketebalan paling dalam ditemukan di Pulang Pisau, Kalimantan Tengah serta di Muara Sabak yaitu masing-masing 7m dan 8m. Sementara ketebalan gambut sangat dalam ditemukan di Berengbenkel, Kalimantan Tengah dan Ketaun, Bengkulu dilaporkan lapisan gambut dapat mencapai ketebalan sampai 15 m. Tetapi informasi ini masih perlu diklarifikasi kembali karena ketebalan tersebut disimpulkan hanya berdasarkan interpretasi dari data sondir.

Soepandji dkk. (1996) telah melakukan penelitian yang mendalam terhadap sifat-sifat teknik dari beberapa tanah di Sumatra dan Kalimantan. Demikian pula Pusat Litbang Prasarana Transportasi telah melakukan penyelidikan yang mendalam terhadap sifat-sifat teknik gambut dari daerah Pulang Pisau, Kalimantan. Dari kedua penelitian tersebut didapat data sifat-sifat tekniknya antara lain bahwa lapisan gambut memiliki kadar air yang sangat tinggi. Pengujian di laboratorium menunjukkan hasil yang berada pada kisaran 200% hingga 900%. Kadar air alami dari contoh ini akan lebih tinggi lagi, jika memperhitungkan kesulitan untuk mendapatkan contoh tanah tak terganggu yang baik. Bagian yang *ombrotropis* umumnya memiliki kadar air yang lebih rendah. Profil dari kadar air menunjukkan bahwa kadar air di daerah Pulang Pisau meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman.

Nilai kepadatan curah umumnya berkaitan dengan kepadatan air dan Berat Jenis bahan organik, yaitu bervariasi dari 1.5 hingga 2.0, bergantung kepada kadar organiknya. Nilai pH relatif rendah, yaitu sekitar 3 hingga 5, yang menunjukkan bahwa endapan yang terjadi berada pada lingkungan yang asam.

Nilai kompresibilitas pada umumnya tinggi dengan proporsi dari kompresi rangkai yang cukup tinggi. Meskipun demikian, permeabilitasnya cukup tinggi dan bersifat isotropis. Pengukuran terhadap kuat geser gambut masih merupakan hal yang diperdebatkan. Beberapa contoh tanah gambut tidak menunjukkan mekanisme keruntuhan selama proses pembebanan (penggeseran) walaupun telah mencapai regangan yang besar. Penyelidikan dengan menggunakan sondir tidak menghasilkan informasi kuat geser yang akurat. Sementara penggunaan uji baling-baling lapangan sering menampilkan hasil yang membingungkan, apalagi jika dilakukan pada gambut dengan kadar serat yang tinggi.

## Petunjuk Awal Adanya Tanah Lunak

Studi literatur yang komprehensif, tinjauan lapangan dan prosedur pengujian lapangan dijelaskan pada Panduan Geoteknik 2.

Suatu penilaian dari sebuah alinyemen jalan yang dapat mengidentifikasi kemungkinan adanya masalah tanah lunak secara lebih dini akan sangat membantu dalam tahapan studi pra-kelayakan (*pre-feasibility study*).

Prosedur untuk melakukan penilaian awal pada lokasi yang dilalui alinyemen jalan yang dilakukan hanya dengan menggunakan peta topografi dan peta geologi akan dijelaskan pada bab ini. Jika sebuah peninjauan lapangan dilakukan pada tahapan ini, maka prosedur yang dijelaskan pada Panduan Geoteknik 2 tentang Peninjauan Lapangan harus diterapkan.

Dalam hal melakukan penilaian awal terhadap kemungkinan akan adanya tanah lunak pada suatu lokasi, maka petunjuk-petunjuk berikut harus diperhatikan.

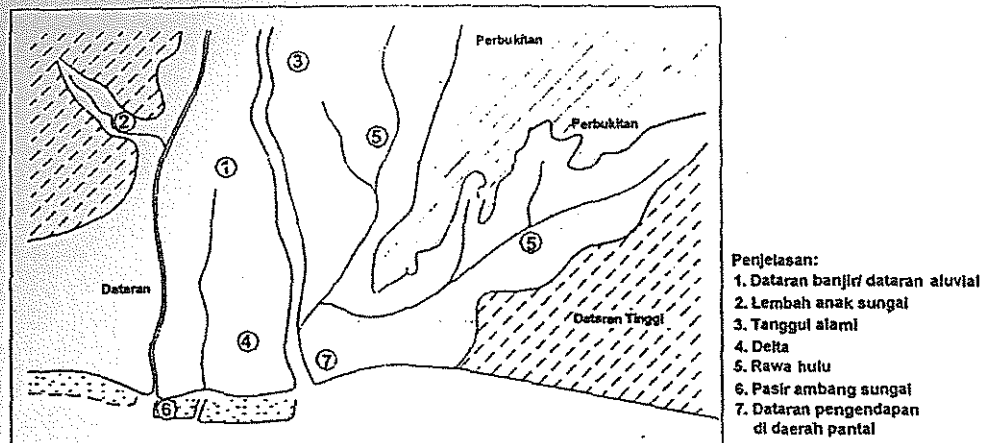
Areal dataran rendah pada umumnya terbentuk pada dataran banjir dan daerah pantai dengan kemiringan lereng kurang dari 8%. Bentuk atau tipe umum dari dataran rendah ini diperlihatkan pada Gambar 7-1, sebagai berikut ini:

- **Dataran Banjir atau Dataran Aluvial** Areal ini sebagian besar merupakan dataran dan ditemukan pada dataran rendah di sekitar sungai hingga laut atau sebagai hasil dari pembentukan meander sungai. Komposisi tanah dari dataran aluvial ini dapat terdiri dari kerikil, bongkahan batu, pasir, lanau, lempung atau material organik, yang masing-masing bergantung pada batuan dasar, kondisi medan, serta jarak yang ditempuh oleh material pada proses pengangkutannya,
- **Tanggul Alami**, merupakan daerah yang dapat ditemukan pada areal jalur meander, dan komposisi materialnya dapat terdiri atas gambut, lempung atau lumpur dan pasir,
- **Lembah Anak Sungai**, merupakan daerah yang terdiri dari satu atau lebih sungai yang mengalir pada bagian atas dari lembah ke dataran yang lebih rendah komposisi material berupa lumpur dan pasir,
- **Rawa-Hulu (Back Marsh)**, merupakan daerah yang ditemukan di sekitar sungai yang besar dengan aliran airnya sangat lambat yang biasanya sering terjadi di dekat laut. Aliran air yang ada bergantung pada pasang surut yang terjadi. Tumbuh-tumbuhan yang tumbuh di sekitar areal ini akan mempengaruhi kondisi tanah yang ada, oleh karenanya tanah organik atau gambut dapat saja terbentuk,
- **Delta**, areal ini merupakan suatu sedimen yang terjadi di mulut sungai. Akibat gelombang yang terjadi, delta dapat tererosi dan materialnya akan



tersebar ke sepanjang garis pantai dan kemudian diendapkan pada lingkungan pantai menjadi sedimen marin. Umumnya komposisi dari delta dan sedimen marin ini terdiri atas lempung, lumpur, lanau, pasir dan material organik,

- **Dataran Pantai**, daerah ini merupakan areal yang terdiri atas sedimen berumur muda (*recent sediment*) yang mencakup daerah pantai, material pembentuknya berasal dari daratan, pada umumnya dari sungai. Sedimennya belum terkonsolidasi sempurna dan bersifat sangat lunak,
- **Gosong Pasir (Sand Bar)**, merupakan pasir lepas yang dijumpai sepanjang areal pantai. Dalam beberapa kasus gosong pasir ini dapat terletak di atas lapisan lempung lunak yang tebal. Jumlah dan sebaran dari pasir ini ditentukan oleh gelombang serta arus laut yang terjadi.



Gambar 7-1 Proses Pembentukan dan Tipe-tipe Tanah Lunak (Japan-Thailand Joint Study Project on Soft Clay Foundation, 1988)

Peta Geologi Indonesia secara keseluruhan, yang ditampilkan dalam CD Panduan Geoteknik, menunjukkan lokasi dari endapan kwarter yang ada di Indonesia. Peta ini dapat digunakan sebagai panduan awal untuk menentukan akan kemungkinan adanya tanah lunak.

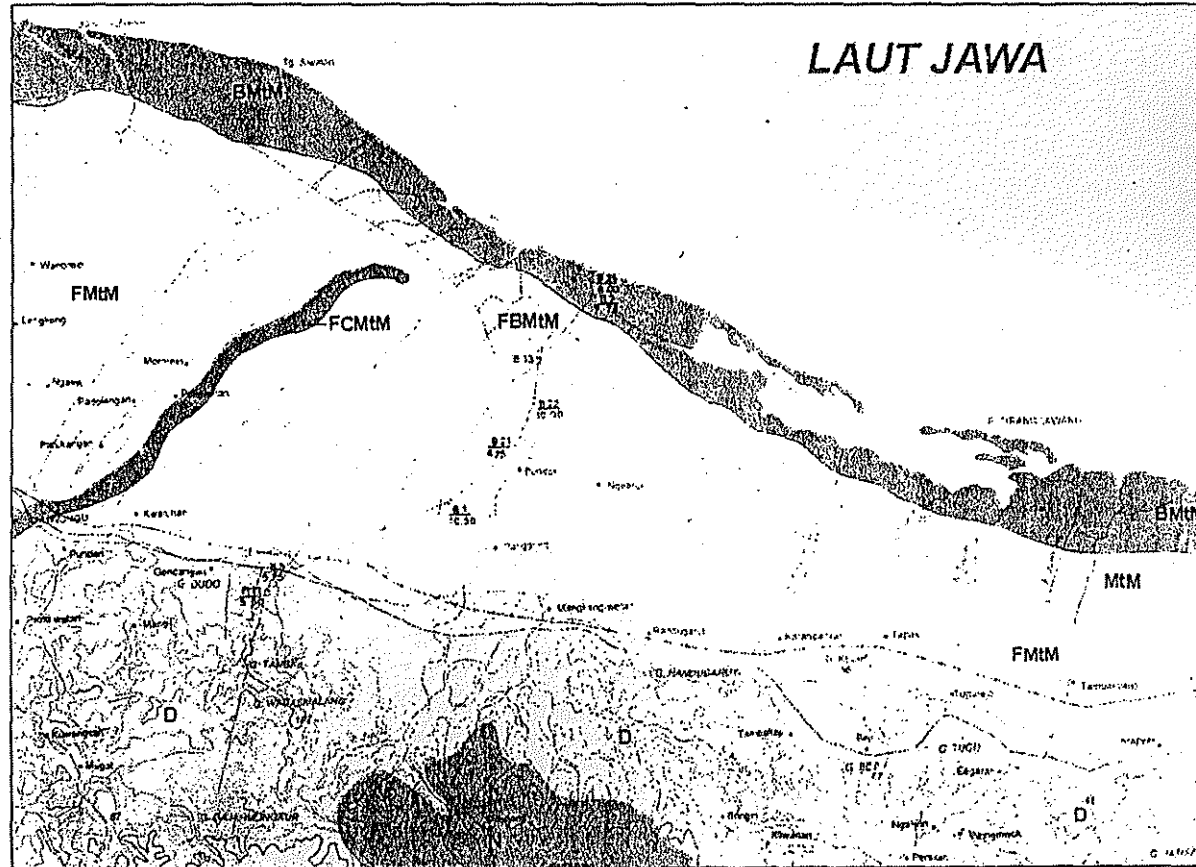
Untuk beberapa daerah, peta Geologi Kwarter Indonesia telah dipublikasikan. Peta ini menampilkan informasi lebih detil yang dapat dipergunakan. Gambar 7-2 berikut merupakan sebuah contoh dari peta tersebut.

Jika peta geologi yang lebih detil tidak tersedia, maka dengan menggunakan Tabel 7-1 berikut, kemungkinan akan adanya tanah lunak dapat diperkirakan berdasarkan kondisi medan dan pemanfaatan lahan, lihat Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Penentuan Kondisi Tanah berdasarkan Topografi dan Peta Geologi Regional

Formasi Geologi	Klasifikasi Bentuk Dataran	Lingkungan Sedimentasi	Tipe Tanah dan Sifat-sifatnya	Pemanfaatan Lahan dan Tumbuh-tumbuhan
Qa (endapan marin)	Endapan marin dan pantai	Air Asin	Lempung marin, lunak hingga sangat lunak	Pertanian ikan, lahan tambak, hutan bakau.
Qa (endapan aluvial)	Delta dan dataran pantai	Air Payau	Lempung kelanauan, lempung berpasir, lempung organik, gambut, lunak hingga sangat lunak.	Persawahan, lahan tambak, pertanian ikan, nipah, kelapa, hutan bakau.
Qa (endapan sungai, dataran banjir, teras sungai)	Dataran rendah yang datar: Rangkaian sungai, meander, teras sungai, rawa, danau, tapal kuda, dataran banjir, tanggul alami	Air Tawar	kerikil, kerikil berpasir, pasir kelanauan, pasir kelempungan, Lempung kelanauan, gambut, lunak hingga sangat lunak atau material halus	Persawahan, tempat tinggal, palem, kelapa,
Ql (endapan danau)	Dataran tinggi yang datar / <i>intermontana</i> : lembah sungai, danau, rawa, dataran banjir	Air Tawar	lempung, lempung berpasir, lempung kelanauan, lempung organik, gambut, lunak hingga sangat lunak.	Persawahan, lahan tambak, tempat tinggal, rawa-rawa, palem, kelapa

Gambar 7-2 Contoh Peta Geologi Kwarter



Legenda

HOLOSEN	FBmM	Endapan Dataran Banjir pada on Endapan Pantal pada Endapan Pasang Surut pada Endapan Dekat Pantal.
	FCmM	Endapan Dataran Banjir pada Endapan Terusan pada Endapan Pasang Surut pada Endapan Dekat Pantal.
	FMtM	Endapan Dataran Banjir pada Endapan Pasang Surut pada Endapan Dekat Pantal.
	FA	Endapan Dataran Banjir pada Endapan Aluvial.
	MmM	Endapan Pasang Surut pada Endapan Dekat Pantal
Pleistosen	BMtM	Endapan Pantal pada Endapan Pasang Surut pada Endapan Dekat Pantal.
	N	Formasi Notopuro
	D	Formasi Damar

Abdullah A M L B & Chandra S (1987), *Engineering Properties of Coastal Subsoils in Peninsular Malaysia*, Proceedings 9th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok 7-11 December, 75-127.

Attewell P B & Farmer I W (1976), *Principles of Engineering Geology*, Chapman & Hall, London.

Balasubramaniam A S, et al. (1985), *Engineering Behaviour of Soils in The Southeast Asia*, Commemorative Volume of SEAGS for San Francisco, 1985, Golden Jubilee Conf, Balkema.

Barry A J & Rachlan A (2001), *Embankments on Soft Soils in North Java*, Proceedings International Conference on In Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories, Bali, Parahyangan Catholic University, May.

Barry A J, Bambang Trigunarsyah, Symes T & Younger J S (1992), *Piling for Roads Over Peat in Sumatra*, Geotropika 92 International Conference on Geotechnical Engineering, Johor Bahru, April.

Barry A J, Brady M A & Younger J S (1992), *Roads on Peat in East Sumatra*, Symposium in Print: Environmental Geotechnics, South East Asian Geotechnical Society, Bangkok.

BGS (1988), *Development Constraints in Layered Coastal Aquifers*, Seminar and Workshop Groundwater Quality Monitoring and Aquifer Control in Indonesia, 24-27 March.

Bjerrum L (1967), *Engineering Geology of Norwegian Normally-Consolidated Marine Clays as Related to Settlements of Buildings*, *Geotechnique*, 17,2, 81-118.

Bjerrum L (1973), *Problems of Soil Mechanics and Construction on Soft Clays*, Proc 8th International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering Moscow, 1973, 111-159

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

Choa V, Chu J, Bawajee R, Bo M W & Arulrajah A (1996), *The Strength and Consolidation Behaviour of Singapore Marine Clay at Changi*, Proceedings 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, Kuala Lumpur 6-10 May, 81-85.

Cook J R & Younger J S (1991), *Highway Construction Aspects of The Quaternary Engineering Geology of West Java*, Quaternary Engineering Geology, Geological Society Special Publication No 7, Proc 25th Annual Conf Geol Society, Edinburgh, 1989.

- Cox J B (1968), *A Review of The Engineering Characteristics of The Recent Marine Clays in South East Asia*, Research Report No 6, Asian Institute of Technology, Thailand.
- Cox J B (1970), *The Distribution and Formation of Recent Sediments in South East Asia*, Proceedings 2nd South East Asian Conference on Soils Engineering, 30-47.
- Dam M A C & Suparan P (1992), *Geology of the Bandung Basin*, Geological Research and Development Centre, Bandung Special Publication No 13.
- Diemont W H, Rijksen H D & Silvius M J (1991), *Development and Conservation of Lowland Peat Areas in Indonesia: How and where?*, Tropical Peat - Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland, Kuching 6 - 10 May, 21-27.
- Doddy S G & Siregar D A (1992), *Penarikan Radiocarbon dengan Studi Kasus: Endapan Aluvium Holosen di Daerah Labuan (Belawan), Sumatera Utara*, Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Geological Research & Development Centre, October, 7-12.
- Farrell E R, O'Neill C & Morris A (1994), *Changes in The Mechanical Properties of Soils with Variations in Organic Content*, Advances in Understanding and Modelling the Mechanical Behaviour of Peat, Balkema, Rotterdam.
- Gidigasu M D (1976), *Laterite Soil Engineering*, Elsevier: Developments in Geotechnical Engineering 9.
- GRDC (1996), *Peta Geologi Kuarter Lembar Semarang, Jawa, 5022-II*, Geological Research and Development Centre.
- Hanrahan E T & Rogers M G (1981), *Road on Peat: Observations and Design*, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107, GT10, October, 1403-1415.
- Hartlen J & Wolski W (eds) (1996), *Embankments on Organic Soil*, Elsevier Developments in Geotechnical Engineering 80.
- Helmi A (1987), *Influence of Lime on The Secondary Compression Characteristics of Bandung Clay*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 87/7 in series.
- Hendarsin S L (1989), *Consolidation Characteristics of Bandung Clay as A Function of Sampling and Sample Size*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 89/5 in series.
- Hobbs N B (1987), *A Note on The Classification of Peat*, Geotechnique, 37, 3, 405 - 407.
- Hussein A N, McGown A & Hassan N R N (1996), *Geotechnical Characteristics of The Coastal Soft Soil Deposits of Kuala Perlis, Perlis, Malaysia*, Proceedings 12th Southeast Asian Geotechnical Conference, Kuala Lumpur 6-10 May, 113-118.
- IRE (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.

Jayaputra A, Younger J S & Liliawaty S (1990), *Influence of Sample Size and Method of Sampling on Consolidation Characteristics of Bandung Clay*, Proc 4th Indonesian Soils Conference, Bandung.

Kazi A & Mowm J (1973), *Effect of Leaching on The Fabric of Normally Consolidated Marine Clays*, Proceedings of International Symposium on Soil Structure, Gothenberg, 137-152.

Kenney T C (1976), *Formation and Geotechnical Characteristics of Glacial-Lake Varved Soils*, In Laurits Bjerrum Mem Vol, eds N Janbu, F Jorsted & B Kjaernsli, 15-39, Norwegian Geotech Inst, Oslo.

Kobayashi Y, Todo H, Weerasinghe W A Y & Chandra P (1990), *Comparison of Coastal Clays Found in Singapore, Malaysia and Indonesia*, Proceedings 10<sup>th</sup> South East Asian Geotechnical Conference, Taipei, 409-414.

Lambe T W & Whitman R V (1969) *Soil Mechanics*, McGraw Hill.

Landva A O, Korpijaakko & Pheeney P E (1983), *Geotechnical Classification of Peats and Organic Soils*, in Testing of Peats and Organic Soils, ASTM STP 820 ed P Jarrett, 37-51.

MacKinnon K, Hatta G, Halim H & Mangalik A (1996), *The Ecology of Indonesia Series, Vol. III: The Ecology of Kalimantan*; Periplus Editions (HK) Ltd.

McGown A & Jarrett P M (1997), *Short Course Notes on Tropical Soft Soils and Peats (Site Investigation and Laboratory Testing)*, Institute of Road Engineering, Bandung, July.

Mitchell J K (1976), *Fundamentals of Soil Behaviour, Ch. 5, Determination of Soil Composition*, John Wiley & Sons, New York.

Morley R J & Flenley J R (1987), *Late Cainozoic Vegetational and Environmental Changes in The Malay Archipeligo*, In Biogeographical evolution of the Malay Archipeligo ed TC Whitmore, Oxford, Clarendon, 50-59

Morley R J (1981), *Development and Vegetation Dynamics of A Lowland Ombrogenous Peat Swamp in Kalimantan Tengah, Indonesia*, Journ Biogeo, 8, 383-404.

Morrison I M, Harris A J & Wangsadinata (1984), *Tanjung Priok Port Development Investigations and Estimation of Rate of Settlement of Land Reclamation*, Proceedings of Symposium on Geotechnical Aspects of Mass Materials and Transportation, Bangkok, 533-64.

Muller G (1967), *Diagenesis in Argillaceous Sediments*, In Diagenesis in Sediments, eds G Larsen & G V Chilingar, Elsevier, 127-177.

Ong B Y & Yogeswaran M (1991), *Peatland as A Resource for Water Supply in Sarawak*, Tropical Peat - Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland Kuching 6 - 10 May, 21-27.

- Paul M A, & Barras B F (1999), *Role of Organic Content in The Plasticity of Bothkennar Clay*, Geotechnique (Technical Note), 49, 4, 529-535.
- Radjaguguk B (1991), *Utilization and Management of Peatlands in Indonesia for Agriculture*, Tropical Peat - Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland Kuching 6 - 10 May, 21-27.
- Rahadian H (1992), *Comparison of Engineering Properties of Soft Marine Clays and Soft Lacustrine Clays from Indonesia*, MSc Thesis, University of Strathclyde.
- Rahadian H, Rakhman T & Dian Asri Moelyani (2001), *Field and Laboratory Data Interpretation of Peats at Berengbenkel Trial Site*, International Conference on In situ Measurement of Soil Properties and Case Histories, Bali, Volume: Embankments on Soft Soils.
- Rieley L (2000), *Kalimantan Tropical Peat Forest Research Project (KALTROP)*, Universities of Nottingham & Leicester, UK., Hokkaido, Japan., and Palangka Raya, Indonesia,  
<http://www.geog.nottingham.ac.uk/~rieley/Kaltrop/kalpage2.htm> (current 2001)
- Riyanto J (1988), *Pore Water Pressure Response of Bandung Clay Under Test Embankment Loading for Padalarang-Cileunyi Toll Highway*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 88/8 in series.
- Rosenqvist I Th (1953), *Considerations on The Sensitivity of Norwegian Quick-Clays*, Geotechnique, 3,5, 195-200.
- Setionegoro (1986), *Consolidation Properties of Bandung Clay*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 86/5 in series.
- Setjadinigrat C B (1988), *Bandung Clay: Properties, Structure and Stability Against Embankment Failure*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 88/1 in series.
- Sieffermann G, Fournier M, Triutomo S, Sadelman M T & Semah A M (1988), *Velocity of Tropical Peat Forest Accumulation in Central Kalimantan Province, Indonesia (Brome)*, Vol 1, p90-8., Proc VIII International Peat Congress, Leningrad, 1, 90-98.
- Simandjuntak T O & Barber A J (1996), *Contrasting Tectonic Styles in The Neogene Orogenic Belts of Indonesia*, in Tectonic Evolution of Southeast Asia, Hall R & Blundell D J (eds) Geological Society Special Publication No 106.
- Simandjuntak T O (1993), *Neogene Tectonics and Orogenesis of Indonesian*, Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Geological Research & Development Centre.
- Siregar D A, Hidayat K & Sudjana E (1995), *Pentarikan Umur Mutlak Fosil Kayu dan Lempung dari Beberapa Lokasi Terpilih di Daerah Bandung dan Sekitarnya dengan Metoda C14 serta Penafsiran Stratigrafi dan Sejarah Geologinya*, Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Geological Research & Development Centre, March, 6-11.



- Situmorang R (1998), *Construction of Roads Over Indonesian Tropical Inorganic Soft Soils*, MSc Dissertation, University of Strathclyde
- Skempton A W & Northey R D (1952), *The Sensitivity of Clays*, *Geotechnique*, 3,1,30-53.
- Skempton A W & Petley D J (1970), *Ignition Loss and Other Properties of Peats and Clays from Avonmouth, Kings Lynn and Cranberry Moss*, *Geotechnique*, 20, 4, 343-56.
- Skempton A W (1970), *The Consolidation of Clays by Gravitational Compaction*, *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 373-411.
- Tie Y L & Lim J S (1991), *Characteristics and Classification of Organic Soils in Malaysia*, *Tropical Peat - Proceedings of the International Symposium on Tropical Peatland Kuching 6 - 10 May*, 21-27.
- Ting W H & Ooi T A (1977), *Some Properties of The Coastal Alluvia of Peninsular Malaysia*, *International Symposium on Soft Clay Bangkok 5-6 July*, 89-104.
- Torrance J K (1974), *A Laboratory Investigation of The Effect of Leaching on The Compressibility and Shear Strength of Norwegian Marine Clays*, *Geotechnique*, 24,2, 155-173.
- Turner, P. 1997. *Indonesia*. Lonely Planet Publications.
- Van Bemmelen RW (1949), *The Geology of Indonesia*, Vol. IA: General Geology, Government Printing Office, The Hague.
- van de Meene E A (1984), *Geological Aspects of Peat Formation in The Indonesian - Malaysian lowlands*, *Bulletin Geological Research and Development Centre*, 9, 20-31
- Verstappen H T (1975), *On Paleoclimates and Landform Development in Malaysia*, In: Barstra G J, Caspari W A & Glover I (eds) *Modern Quaternary Research in South East Asia*, 3-35.
- Weight W D & Sonderegger J L (2001), *Manual of Applied Field Hydrogeology*, McGraw Hill.
- Wesley L.D1973 *Slope Stability in Mountaineous Tropical Regions*, *Geotropika* 94, Malacca, Malaysia.
- Whitten T, Damanik S J, Anwar J & Hisyam N (1987), *The Ecology of Sumatra*, Gadjah Mada University Press.
- Wilopo Didik H (1988), *Settlement of Bandung Clay under Trial Embankment Loading for The Padalarang-Cileunyi Toll Highway*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung, 88/10 in series.
- Woo S M & Moh Z M (1977), *Effects of Leaching on Undrained Shear Strength Behaviour of A Sedimented Clay*, *Proceedings of Specialty Session on Geotechnical Engineering & Environmental Control, 9<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, Tokyo*, 452-464.



Younger J S & Suratman I (1988), *Natural and Lime-Stabilised Properties of Bandung Clay*, Proceedings 2nd International Conference on Geomechanics in Tropical Soils, Singapore.

Younger J S (1990), *Geotechnical Characteristics of Soft Soils in Indonesia*, Proceedings of Symposium on Development of Geotechnical Aspects of Embankments, Excavations and Buried Structures, Bangkok, Balkema.

Younger J S (1991), *Studies on Soft Ground Construction in Indonesia*, IHT/HPJI Joint Seminar May.

Younger J S, Jayaputra A & Rachlan A (1990), *Characteristics of Bandung Clay and Performance Under Embankment Loading: a review*, Proc 4th Indonesian Soils Conference, Bandung.

Younger J S, Pamudji Widodo & Hadi Utoyo Moeno (1992), *Characteristics of Two Indonesian Tropical Soils*, Highways & Transportation, February.

## Lampiran A

### Isi CD Panduan Geoteknik

## Isi CD

- Panduan Geoteknik
- Data Uji Timbunan Berengbengkel
- Data Uji Timbunan Kaliwungu
- Peta Geologi

*Peta-peta tersebut bisa dilihat dengan menggunakan ER Viewer yang bisa di-download dari [www.ermapper.com](http://www.ermapper.com)*

- Laporan Penelitian
- Bank Data

*Bank Data ini memerlukan Microsoft Access 2000 untuk mengaksesnya*

- Lain-lain
  - Manual Pemantauan Instrumentasi
  - Kamus Istilah-istilah Teknik Inggris-Indonesia yang digunakan dalam Panduan Geoteknik
  - Daftar Istilah Gambut

## Lampiran B

### Lokasi Karakterisasi Lempung Lunak

## B.1

## Geologi Regional

Gambar B1 menunjukkan endapan kwarter di Indonesia, dan daerah-daerah yang diindikasikan banyak terdapat tanah lunak.



Gambar B1 Endapan Kwarter dan Tanah Lunak di Indonesia

Berikut adalah daerah tanah lunak yang datanya sudah cukup tersedia yang dapat dikelompokkan kedalam dua unit sebagai berikut :

- Lempung Danau Bandung. Lempung lunak ini merupakan suatu endapan air tawar, yang terbentuk akibat terbungungnya dataran Bandung pada Jaman Kwarter dan pengendapan sedimen yang berasal dari batuan vulkanik andesit di sekelilingnya,
- Pantai utara Jawa dan Sumatra. Lempung marin dan delta Holosen pada lokasi tersebut dikelompokkan dan dibandingkan atas dasar perbedaan yang signifikan.

## B.2

# Lempung Bandung

Lempung Bandung telah diteliti secara luas oleh berbagai penulis (Cook & Younger, 1991; Dam & Suparan, 1992; Hariyono, 1987; Helmi, 1987; Hendarsin, 1989; IRE, 1998<sup>1</sup>; Jayaputra dkk., 1990; Riyanto, 1988; Ryanto, 1988; Setionegoro, 1986; Setjadinigrat, 1988; Wilopo, 1988; Younger dkk., 1990; Younger & Suratman, 1988, Younger, 1990; Younger, 1991; Younger dkk., 1992).

Menurut Siregar & Hidayat (Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Maret 1995, p6-11) lempung tersebut terbentuk sejak dari 44.000 sampai 2.000 tahun yang lalu .

Mineralogi Lempung Danau Bandung telah diidentifikasi oleh Cook & Younger mengandung halloysit, albit (suatu seri dari felspar) dan kristobalit (mineral amorf atau kriptokristalin) dengan hanya sejumlah kecil monmorilonit; silika mengandung diatomea, juga dilaporkan ada dalam jumlah yang signifikan. Alofan tidak diidentifikasi tetapi para penulis tersebut menilai mineral ini mungkin ada berdasarkan dari hasil-hasil pengujian indeks.

Analisis semi kuantitatif dari dua sampel yang diambil oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi pada km27 dari Jalan Tol Bandung menegaskan kesimpulan umum tersebut seperti ditunjukkan pada Tabel B1.

Table B1 Mineralogi Lempung dari Contoh Lempung Bandung

Lubang Bor	BH101 PS8-3/1	BH101 PS 13-3
kedalaman(m)	7.60	12.56-12.61
halit	0.3	0.1
felspar	2	2
halloysit	45	68
smektit	8	8
kwarsa	4.3	14
pirit	0	tr
kalsit	2	2
oksida besi	tr	7

<sup>1</sup> Laporan tidak diterbitkan, lihat CD Panduan Geoteknik

Meskipun demikian pada perbatasan sebelah utara dari danau pada permukaan lempung memperlihatkan perilaku mengembang yang tinggi dan ini menunjukkan adanya perbedaan mineralogi .

Kadar organik pada uji hilang pijar berkisar antara 10-25% tetapi kadar organik (dengan asumsi diuji dengan metoda karbon) sangat rendah. Kandungan karbonat hanya 1 sampai dengan 2% (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 1998), sehingga hal ini bukan penyebab utama adanya perbedaan tersebut. Younger (1991) menjelaskan perbedaan itu sebagai suatu ukuran adanya bahan humus; Silfverberg (1955)<sup>2</sup> telah mengidentifikasi bahwa hanya bahan humus saja yang terbakar dalam tungku pembakaran pada temperatur normal 450°C dan karenanya temperatur 800°C dibutuhkan untuk membuang zat-zat tumbuhan yang tidak busuk.

Sifat-sifat teknik Lempung Bandung adalah :

- permeabilitas yang tinggi,
- kuat geser yang tinggi,
- kompresi sekunder yang tinggi.

Sifat-sifat ini dianggap berasal dari sifat dasar mineral lempung dan adanya silika yang mengandung diatomea.

Dari data penyelidikan tanah Jalan Tol Padalarang – Cileunyi yang melintasi Danau Bandung, indeks kompresi  $C_c$  bervariasi mulai dari 2 sampai 4 dengan  $C_c/(1+e_0)$  antara 0.4 sampai 0.8.

Kompresi sekunder,  $C_u$ , didapati berkisar antara 0.02 sampai 0.025 pada tegangan di atas tekanan prakonsolidasi dan setelah perioda yang pendek (sekitar 10 hari), laju penurunan lebih tinggi.

---

<sup>2</sup> Dikutip dari Landva, dkk (1993)

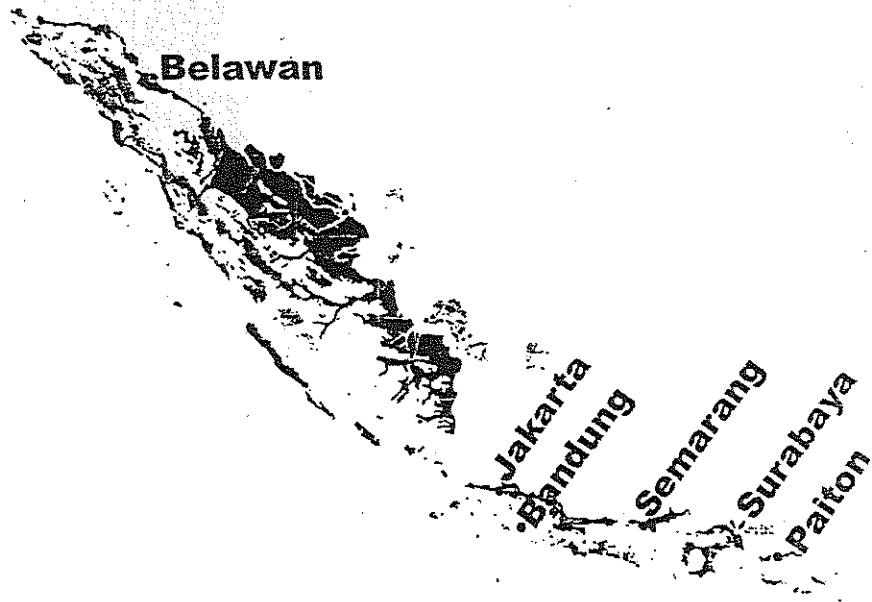
## B.3

# Pantai Utara Jawa dan Pantai Timur Sumatra

### B.3.1

## PENDAHULUAN

Lokasi tempat di mana didapat data yang cukup memadai diperlihatkan pada Gambar B2.



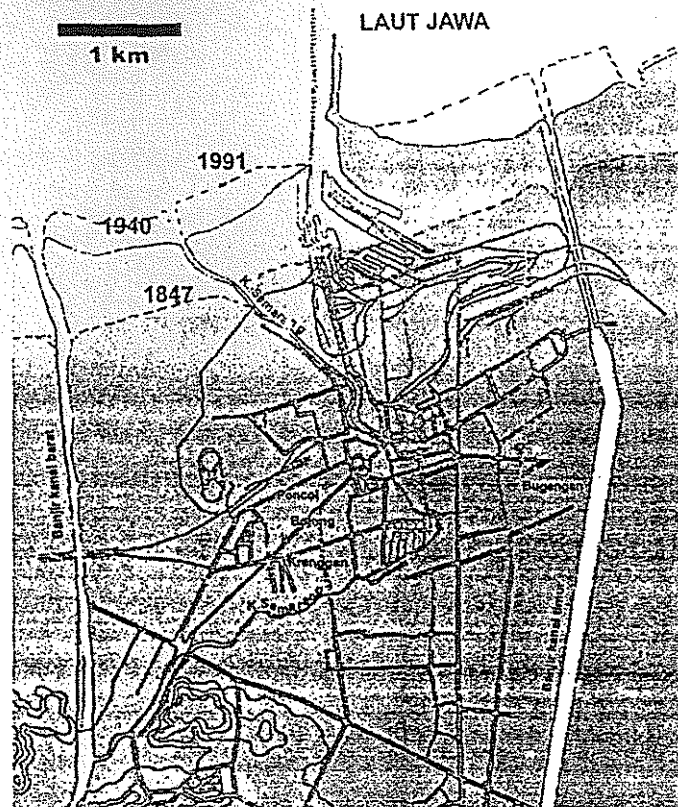
Gambar B2 Lokasi Tanah Lunak di Jawa dan Sumatra

Formasi lempung sepanjang Pantai Utara Jawa dan Sumatra Timur Laut kemungkinan agak mirip. Seluruh pantai berada di hulu gunung-gunung vulkanik, dan meskipun ada beberapa perbedaan mineralogi, mineral utama dan proses pelapukannya akan sama.

Pantai Utara Jawa pada umumnya luasnya makin bertambah. Morrison dkk. (1984) mengutip penelitian oleh Verstappen yang mengidentifikasi laju pertumbuhan tahunan 9 sampai 12 m yang ekuivalen dengan kenaikan elevasi dasar laut tahunan sebesar 30 mm.



Laju pertumbuhan sebagian dari dataran pantai di Semarang telah diidentifikasi oleh Van Bemmelen (seperti dilaporkan oleh BGS, 1998) yang diperlihatkan pada Gambar B3.



Gambar B3 Garis Pantai Semarang

Juga dilaporkan oleh BGS, (1998) bahwa ada legenda lokal yang mempercayai bahwa kota Simongan yang sekarang terletak 5 km ke arah daratan, dahulunya merupakan pelabuhan pada saat kunjungan utusan Cina Sam Poo Kong pada 1460.

Demak, yang sekarang terletak sekitar 12 kilometer ke arah daratan adalah sebuah pelabuhan pada abad ke-enam belas (Turner dkk., 1997). Data yang ada menunjukkan laju pertumbuhan garis pantai lebih dari satu kilometer per seratus tahun ke arah utara.

### B.3.2

## JAKARTA

Data yang diperoleh dari Proyek Indon GMC-1, mengenai studi lokasi karakterisasi tanah (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 1998 yang terdapat dalam CD Panduan Geoteknik) dan Marrison dkk. (1994) berisi data dari Pelabuhan Tanjung Priok (sekitar  $106^{\circ} 53'E$  dan  $6^{\circ} 07'S$ ). Penyelidikan tanah

Puslitbang Prasarana Transportasi pada lokasi Km. 24+500 di Jalan Tol Prof. DR. Sedyatmo, Jakarta (106° 7' E 6° 7' S).

Litologi di lokasi jalan tol diperlihatkan pada Tabel B2.

Table B2 Stratigrafi Endapan Pantai Utara Jawa Barat

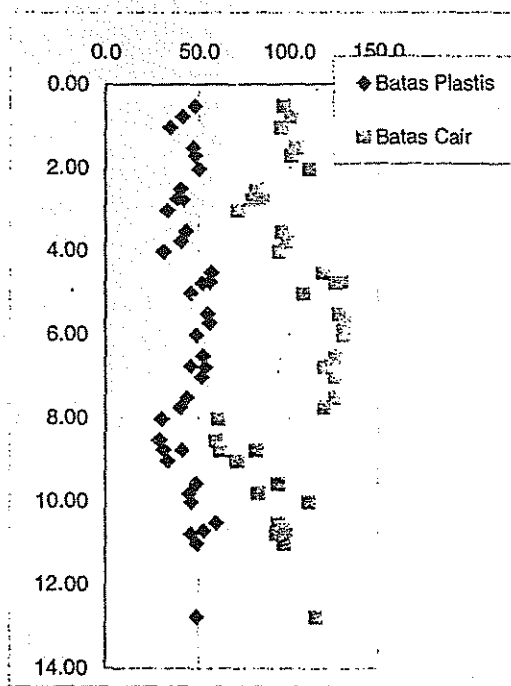
Umur Relatif	Lingkungan Pengendapan	Facies and Lithology	Ketebalan (M)	
HOLOSEN	Fluviatil	Aluvium Moderen: lempung, lanau dan pasir (tak ter diferensiasi); dataran banjir, pinggiran sungai, rawa hulu, endapan tanggul, biasanya terdapat pada lapisan bagian atas	10	
		Endapan terusan: pasir sering bersifat kelanauan pada bagian atasnya	7	
		Pasir punggung bukit pantai: pasir sedang abu-abu hingga abu-abu tua	1 hingga 3	
	Dataran Pantai	Endapan rawa: lempung/lanau humik, lempung kegambutan, gambut (lapisan tipis), dan lempung lunak, diinterpretasikan sebagai endapan marin	7	
		DELTA	Pasir, halus, kerang dan foraminifera yang berlembah	1-3
			Lempung, lanau, interkalasi pasir tipis secara lokal, lunak hingga sangat lunak, mengandung sisa kerang dan foraminifera, yang terinterkalasi dengan liminae abu-abu – putih dan abu-abu pada tempatnya.	8
Marin	Lempung, abu-abu kebiruan, stif, lengket, sedikit sisa-sisa kerang yang hancur (batas transisi).	16.7		
(Dangkal)				
PLEISTOSEN TUA (BAGIAN DARI HOLOSEN MUDA)	Kipas Aluvial	Lempung, tuffaceous, berkerikil, stif, coklat kemerahan yang sangat jelas.	> 6	

Dua analisis mineralogi telah dilakukan seperti terlihat pada Tabel B3.

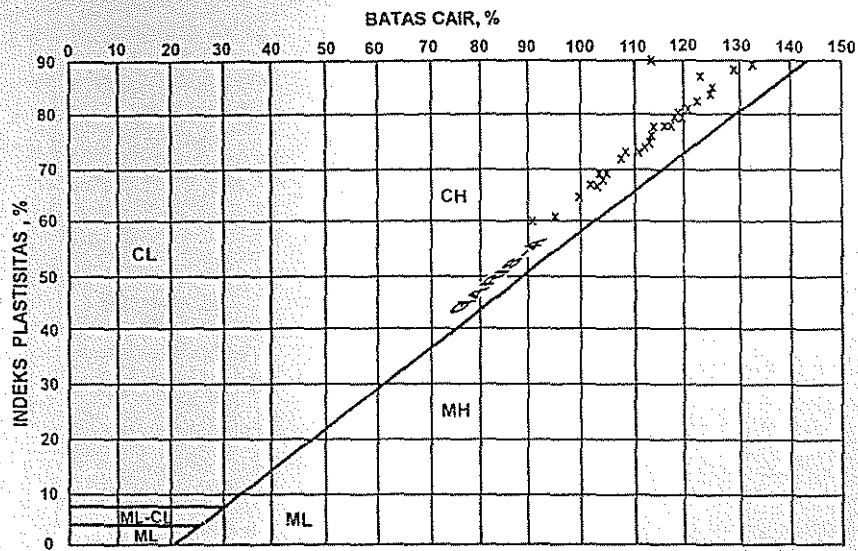
Table B3 Analisis Mineralogi Lempung Jakarta (dalam %)

Lubang bor	BH301-11A	BH301-33.1
Kedalaman (m)	3.54-3.58	10.5710.61
halit	2.1	1.4
felspar	8	3
halosit	49	54
smektit	7	15
kwarsa	27	25
pirit	1	tr
kalsit	6	2
oksida besi	tr	tr

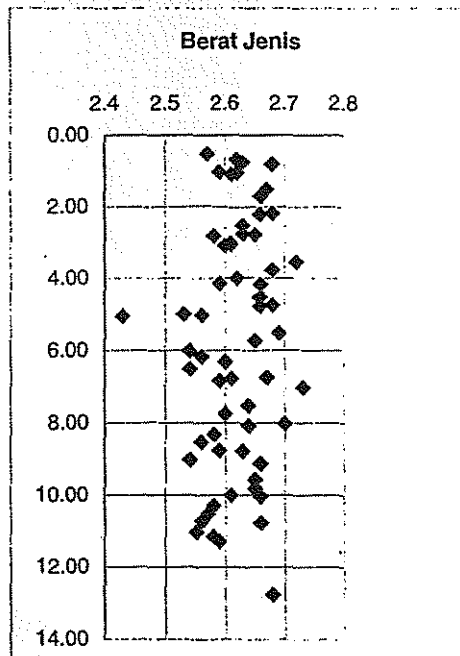
Batas angka Atterberg diperlihatkan pada Gambar B4.



Gambar B4 Batas-batas Atterberg Lempung Jakarta (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 1998)



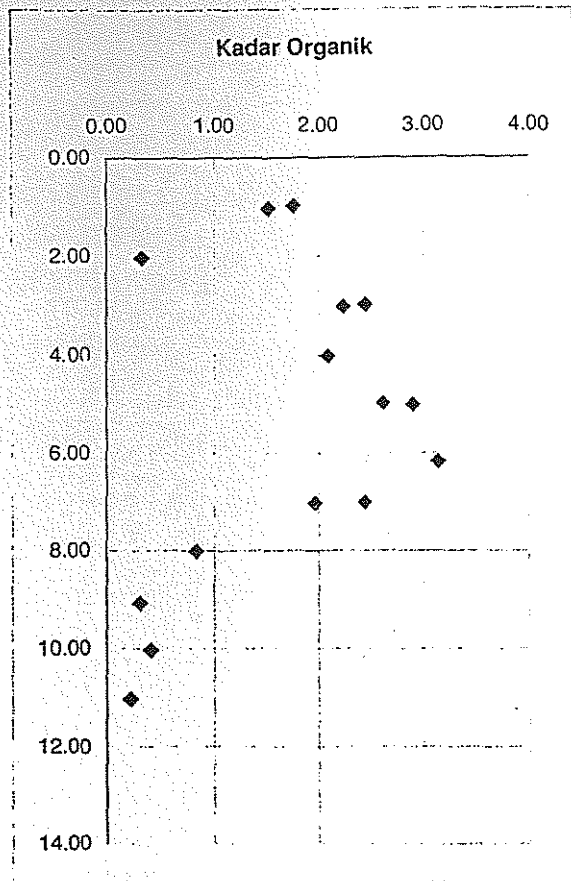
Gambar B5 Batas-batas Atterberg (Morison dkk., 1984)



Gambar B6 Berat Jenis Lempung Jakarta

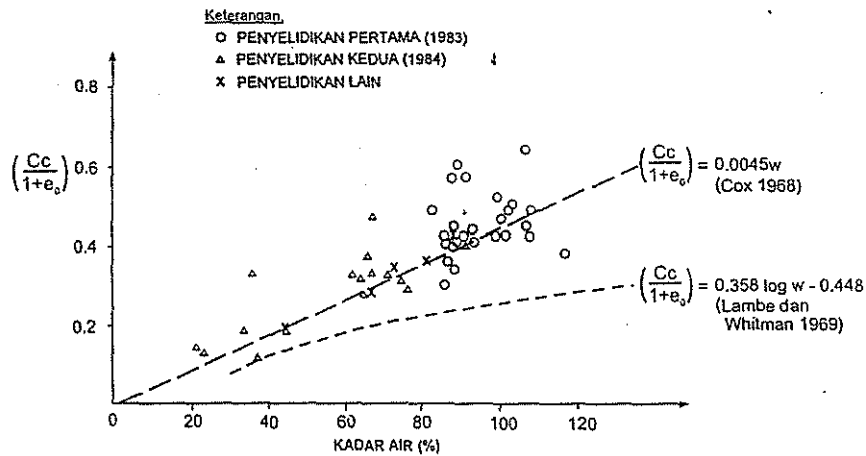
Berat Jenis berkisar antara 2.45-2.75 tanpa kecenderungan yang jelas menurut kedalaman, seperti ditunjukkan pada Gambar B6.

Kandungan karbonat bervariasi antara 10 dan 17% dan diperlukan koreksi, sebesar 4 sampai 8%, terhadap nilai yang didapat dari uji hilang pijar. Nilai setelah koreksi ditunjukkan pada Gambar B7.



Gambar B7 Kandungan Organik Lempung Jakarta

Morrison dkk. (1984) mengidentifikasi kompresibilitas dari hasil beberapa investigasi seperti ditunjukkan pada Gambar B8. Dilaporkan indeks kompresi sekunder  $C_c$  hanya sebesar 0.02, berdasarkan pengujian konsolidasi laboratorium yang dilanjutkan pada contoh tanah yang diambil dengan piston mengambil contoh.

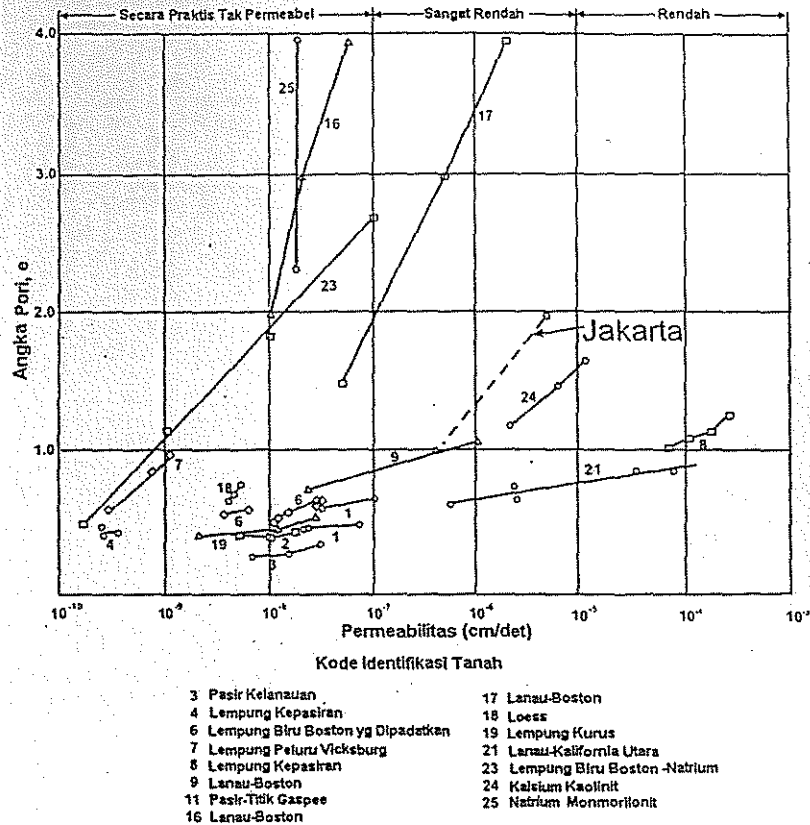


Gambar B8 Kompresibilitas Lempung Jakarta

Hasil-hasil tes lapangan dan laboratorium mengindikasikan bahwa hubungan permeabilitas bervariasi terhadap angka pori bervariasi sebagai berikut:

$$k(m/det) \approx 4 \times 10^{-7} (10)^e$$

Hasil ini dibandingkan dengan data tanah dari tempat lain, dapat dilihat pada Gambar B9.



Gambar B9 Permeabilitas Tanah (berdasarkan Lambe & Whitman, 1969).

### B.3.3

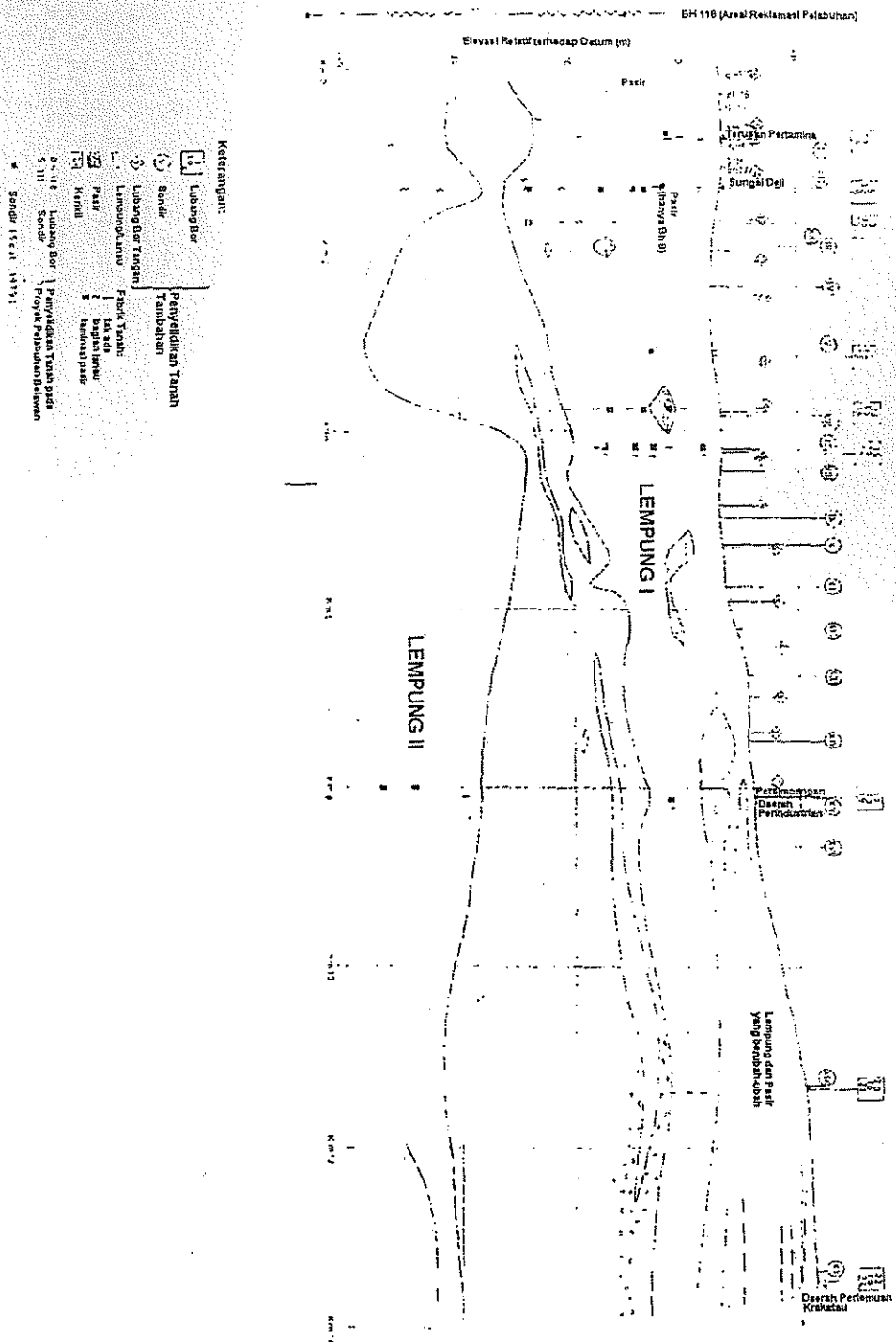
## BELAWAN

Sejumlah besar data diambil dari proyek pembangunan Pelabuhan Belawan dan juga sebagian dari penyelidikan yang dilaksanakan untuk Jalan Tol Belawan – Medan. Pekerjaan ini dilaksanakan dari 1978 sampai 1981.

Pelabuhan Belawan terletak pada 3°48'LU 98°41'E. Data-data yang digunakan untuk karakterisasi daerah ini berasal dari laporan penyelidikan tanah yang tidak dipublikasikan (Barry, komunikasi pribadi).

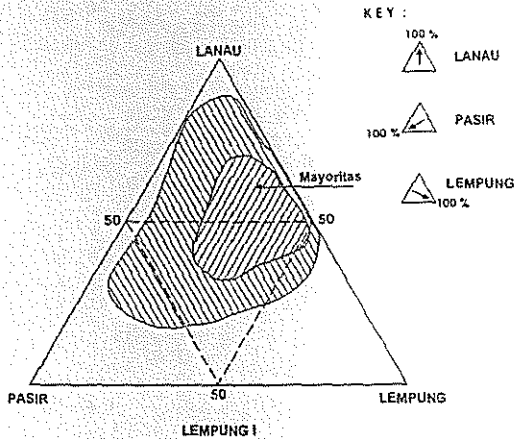
Di pelabuhan Belawan, lempung marin yang berumur Holosen memiliki ketebalan sekitar 15 m. Di bawahnya terdapat lapisan pasir tufa dan kemudian

lempung Pleistosen yang lebih stif. Lempung marin membentang ke arah daratan dan menjadi berseling-seling dengan pasir aluvial sebagai lensa dan lapisan. Kondisi geologi endapan resen pada daerah ini ditunjukkan pada Gambar B10.



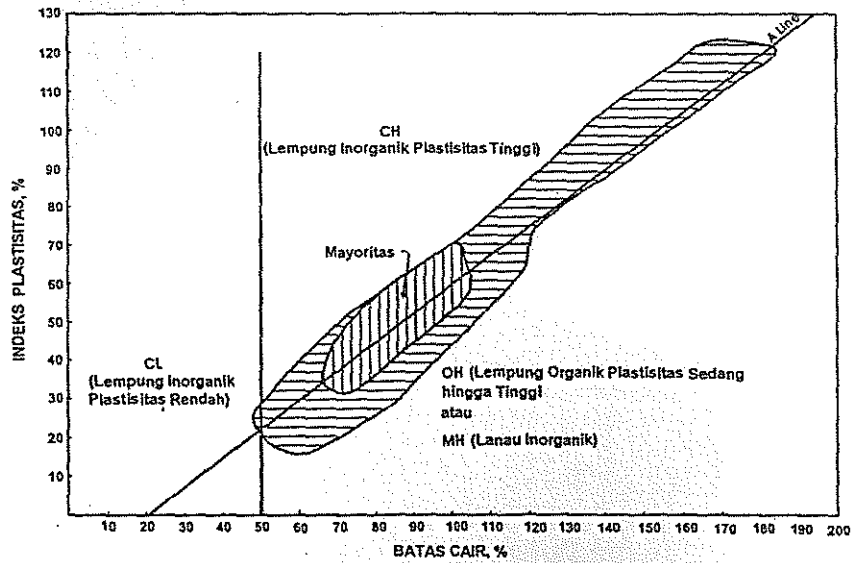
Gambar B10 Penampang Melintang dari Belawan ke Arah Medan

Lempung marin memiliki plastisitas yang tinggi dengan sisipan sisipan lanau dan pasir halus.



Gambar B11 Kandungan Pasir – Lanau – Lempung dari Lempung Belawan

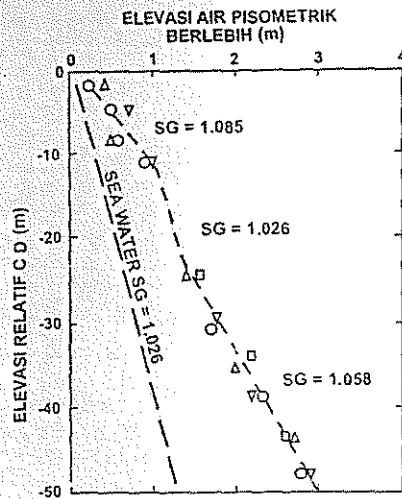
Batas cair umumnya berkisar antara 70% sampai 110% meskipun kadang-kadang didapat nilai-nilai yang lebih tinggi. Seperti diperlihatkan pada Gambar B12, batas-batas Atterberg terletak di atau persis di bawah garis A. Analisis mineralogi tidak dilakukan pada garis lempung ini.



Gambar B12 Batas-batas Atterberg Lempung Belawan

Salinitas air pori tidak diukur langsung, tetapi nilai-nilainya diperoleh dari tekanan air pori statis, seperti diperlihatkan pada Gambar B13.





**Kelompok Pisometer**

- Aa
- △ Ab
- ▽ Ba
- Bb

Elevasi air pisometrik adalah elevasi rata-rata pada 2951980 di atas elevasi pasang air tawar rata-rata (1.9 m CD)

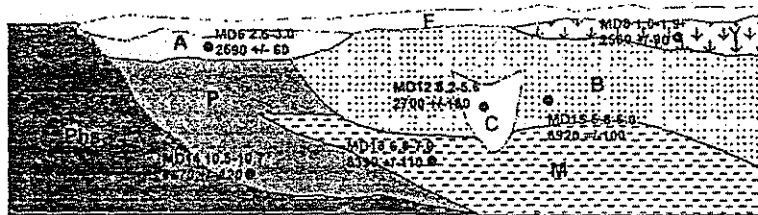
SG Berat Jenis

**ELEVASI PISOMETRIKS**

**Gambar B13** Tekanan Air Pori Statis dan Berat Jenis Air Pori Dugaan (*inferred*) untuk Lempung Belawan

Karena tekanan artesis pada lapisan pasir di bagian bawah diabaikan, tekanan air pori lebih disebabkan oleh salinitas air pori, meskipun hal ini masih berupa dugaan.

Doddy & Sirejar (1992) melaporkan hasil penetapan umur lempung bagian atas dengan metode "carbon dating seperti terlihat pada Gambar B14.



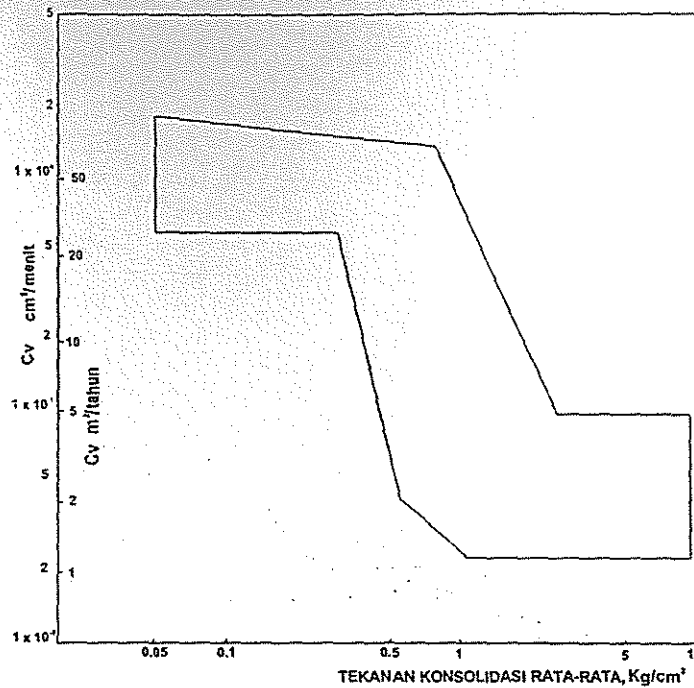
- F dataran banjir
- C alur sungai tua
- A kipas aluvium
- Y rawa bakau
- B endapan dekat pantai
- M laut dangkal
- P paludal
- Phs pra Holosen

**Gambar B14** Geologi dan Penentuan umur dengan Metoda Karbon 14 dari Endapan Belawan Resen

Potongan ini merupakan gabungan data sekitar daerah pedalaman Belawan. Hal ini menandakan sekitar enam sampai tujuh meter lempung telah terendapkan sejak elevasi muka air laut terakhir berada pada 6.000 tahun yang lalu; hal ini bisa dibandingkan dengan perubahan salinitas pada kedalaman 10 m seperti terlihat pada Gambar B13.

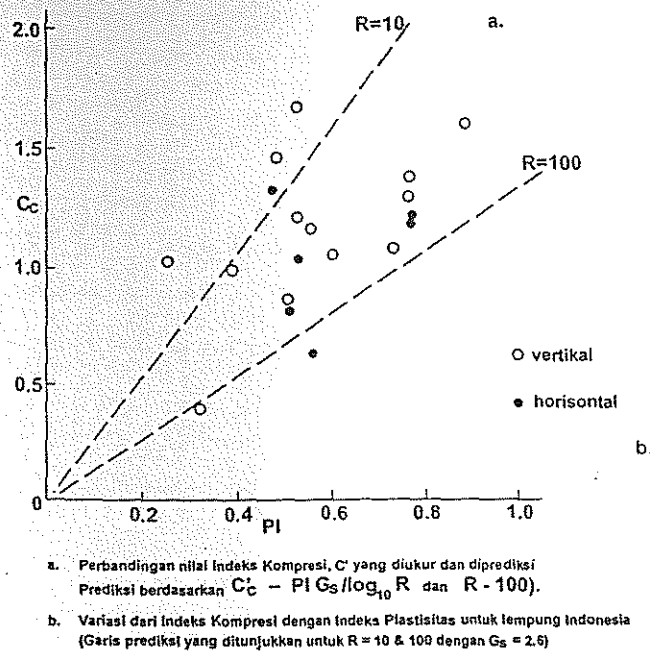
Kompresibilitas  $C_c/(1+e_0)$  berkisar antara 0,25 sampai 0,35 dan kompresi sekunder  $C_\alpha = 0.04$ .

Variasi koefisien kompresibilitas terhadap pertambahan tekanan diperlihatkan pada Gambar B15.



Gambar B15 Kisaran Koefisien Kompresibilitas  $c_v$  untuk Lempung Belawan

Wood telah menganalisis data-data tanah Belawan dalam parameter-parameter kondisi kritis seperti terlihat pada Gambar B16.



Gambar B16 Perbandingan Nilai Indeks Kompresi yang Diukur dan Diprediksi untuk Lempung Belawan (Woods, komunikasi pribadi)

### B.3.4

### SEMARANG.

Data berasal dari laporan penyelidikan tanah untuk pelabuhan (Rachlan, komunikasi pribadi) dan untuk Semarang By Pass dan proyek-proyek konstruksi jalan lainnya (Barry, komunikasi pribadi; Rachlan, komunikasi pribadi). Tempat-tempat yang disebutkan diperlihatkan pada Gambar B17.

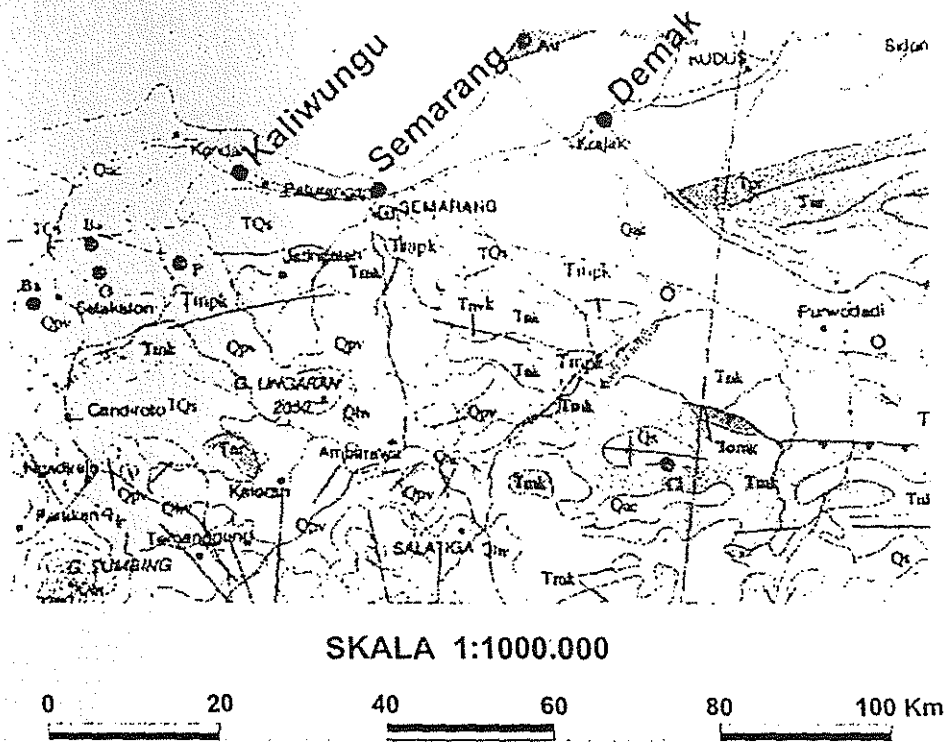
Juga dimasukkan beberapa data awal dari timbunan percobaan Puslitbang Prasarana Transportasi di Kaliwungu. Informasi yang lengkap tersedia di Panduan Geoteknik CD. Informasi lebih jauh dari penelitian ini diharapkan tersedia pada tahun 2002.

Lubang-lubang bor sepanjang pantai menandakan urutan geologi yang sangat mirip satu sama lain, sebagai berikut:

**Endapan Aluvial Resen** yang terdiri dari pasir dan kerikil sepanjang utama.

**Formasi Holosen:** lempung abu-abu yang sangat lunak mengandung kerang-kerang, berlapis berganti dan membentuk lensa pasir ke arah daratan yang lebih tinggi ke arah selatan. Kadang-kadang ditemukan alur-alur kecil pasir aluvium yang terpendam.

Peta dasar lapisan ini sering ditemukan lapisan humus yang memiliki ketebalan sekitar dua meter, hal ini menandakan suatu transisi dari lingkungan rawa dangkal ke lingkungan marin yang lebih dalam. Transisi ini ditemukan pada kedalaman 15 sampai 30 m di bawah elevasi muka air laut saat ini. Pengamatan detil terhadap lapisan ini memperlihatkan bahwa lapisan terdiri atas fragmen kayu dan yang tidak lebih kompresibel dibandingkan lapisan lempung di atasnya.



Gambar B17 Lokasi Penelitian di daerah Semarang

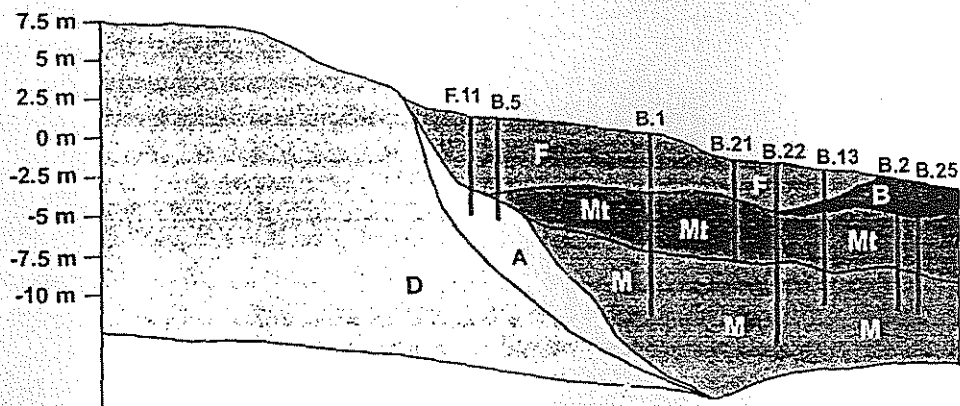
Di atas zona transisi ini tidak didapati bahan organik, yang ditemukan adalah inklusi fragmen koral berukuran kerikil.

Di Demak, lapisan setebal 5 sampai 8 m sebelah atas mengalami pelapukan sehingga warnanya menjadi coklat dan memiliki konsistensi lunak sampai dengankeras. Cox (1970) menyebutkan lapisan kerak lapuk setebal 3 sampai 6 m sering ditemui menjauh terdiri arah pantai dan hal ini menjelaskan adanya lapisan kerak ini di Demak dan tidak di temukan di tempat lain .

Peta geologi Kwartir (GRDC, 1996) mengidentifikasi tiga fasies utama lempung Holosen di daerah Semarang:

- lapisan permukaan berupa endapan dataran banjir setebal 2 sampai 3m,
- lapisan tengah berupa endapan pasang surut setebal 2 sampai 3m,
- lapisan bawah berupa endapan dekat pantai, yang terbukti setebal 8m.

Potongan geologi melalui endapan ini berdasarkan studi fabrik dan analisis palinologi diperlihatkan pada Gambar B18.



**Legenda Potongan Melintang**

- F = Endapan dataran banjir
- B = Endapan pantai
- Mt = Endapan daerah pasang surut
- M = Endapan dekat pantai
- A = Endapan kipas aluvial
- D = Formasi Damar

Gambar B18 Potongan Geologi Kwarter Kaliwungu Bagian Timur

Analisis fabrik terbatas yang telah dilakukan sampai saat ini pada lokasi uji timbunan tidak menunjukkan variasi fabrik yang menegaskan pembagian ini, meskipun demikian warna mungkin menunjukkan beberapa hubungan; contoh tanah yang ketika dibuka berwarna abu-abu kecoklatan pada lapisan 8m bagian atas dan berwarna abu-abu tua di bawahnya.

Alasan mengapa perbedaan tidak ditemui pada studi saat ini kemungkinan disebabkan oleh

- contoh tanah sangat terganggu, atau tidak diperlakukan sebagai mana semestinya untuk keperluan identifikasi struktur,
- struktur yang ada selama pengendapan hancur oleh bioturbasi yang kemudian pada endapan dekat permukaan.

Di lokasi uji timbunan, horison penanda (*marker horizon*) yang jelas pada dasar Holosen nampaknya hilang atau bercampur.

Pada daerah Kaliwungu evaluasi permukaan lapangan berada sekitar +0.5 m dari muka air laut rata-rata. Lubang-lubang bor yang berada sekitar 5 km ke arah daratan tidak mengidentifikasi adanya suatu kerak. Bukti lain tentang adanya zona pelapukan ini tidak ditemui baik di Kaliwungu maupun di Semarang.

Di bawah zona pelapukan, jika ada, lempung bersifat kelanauan berwarna abu-abu tua, sangat lunak sampai lunak, halus, mengandung fragmen-fragmen kerang dan koral dan jarang mengandung pasir halus.

Pada ketebalan satu sampai dua meter dari bagian dasar lempung Holosen, biasanya ditandai oleh kandungan humus, yang pada lubang bor yang diamati berupa gambut daun-daunan. Hal ini menandakan transisi dari lingkungan pengendapan dekat pantai atau estuarin ke lingkungan air dalam, pada bagian atas. Lempung marin yang tidak mengalami pelapukan memiliki aroma yang agak organik tetapi kandungan organiknya tidak terlihat. Pengujian kandungan organik tidak dilakukan, tetapi berdasarkan pengamatan visual kandungan organik masih di bawah 5%.

Sebagai akibat penurunan regional di daerah Semarang datum ekusi permukaan tanah kurang bisa diandalkan dan perbedaan sebesar lebih dari satu meter telah dilaporkan. Meskipun demikian lokasi uji coba di Kaliwungu dan Bypass Kaliwungu Sebelah Utara diperkirakan memiliki elevasi permukaan asli sekitar 0.5 m di atas rata-rata muka air laut.

Beberapa jenis lempung marin diketahui mengandung gas yang dihasilkan oleh zat-zat yang mengalami dekomposisi. Kondisi ini bisa mempengaruhi contoh uji laboratorium dan membuat interpretasi agak sulit dilakukan. Tidak ada bukti bahwa kandungan gas ditemui pada pemampangan yang dilaksanakan. Kejadian terbentuknya gas metan dari suatu lubang bor yang sedang ditimbun dilaporkan terjadi di daerah Demak. Kondisi seperti ini agak jarang ditemui dan ada kemungkinan metan tersebut berasal dari endapan di bawahnya.

Lapisan pasir telah dilaporkan dijumpai pada lempung Holosen. Juga laporan-laporan dari sumur dangkal di daerah perkotaan Semarang. Sampai saat ini tidak bukti adanya lapisan itu. Suatu gambaran detail dari lubang bor pada Jembatan Kali Kenceng, Kaliwungu, diperlihatkan pada Tabel B4. Lubang ini di bor menembus timbunan dan selanjutnya lapisan tanah asli diperlihatkan pada Tabel B4.

Perlu dicatat bahwa dasar dari lempung Holosen adalah suatu lapisan setebal sekitar 0.5 m yang mengandung material daun-daunan dan kayu. Hal ini menandakan suatu fase transisi dari endapan rawa dekat pantai pada akhir penurunan muka air laut.

Adanya lensa pasir pada endapan lapisan bagian atas telah dipelajari dengan menggunakan serangkaian pencatatan sinar gamma ("*gamma logs*") yang dilakukan pada 1996 (BPPT, 1996). Tetapi hasilnya tidak dapat dikorelasikan dengan baik dengan data dari lubang bor, dan pada lapisan lempung marin hasilnya kemungkinan bercampur dengan lapisan kerang, sehingga tidak bisa diandalkan.

Kedalaman unit ini telah diidentifikasi di Semarang pada kedalaman antara 20 dan 24 m di bawah elevasi permukaan tanah. Di Demak dasar dari unit ini ditemukan pada 30m berdasarkan lapisan penanda humus walaupun transisi ke Aluvium Tua tidak begitu jelas. Di Kaliwungu, kedalaman bervariasi, hilang dekat bukit pada lokasi Jembatan Kereta Api, antara 18 sampai 23 m di lokasi Bypass Sebelah Utara dan di lokasi uji timbunan di Kaliwungu.

Tabel B4 Penampang Fabrik pada Lubang Bor di Kaliwungu

Kedalaman (m)	Pemeriaan	Rasio Pemutih	Contoh Tanah
6-7	0-0.25 LANAU kelepungan berpasir coklat kemerahan firm dengan sedikit kerikil kasar  (TIMBUNAN)  -----  0.25-0.5 LEMPUNG kelanauan hijau abu-abu sangat lunak dengan laminasi horisontal hijau tua sekali-kali dengan bekas akar pada 0.25  (LEMPUNG BAGIAN ATAS)	0.5 (50%)	
7.5-7.95	Idem		SPT
7.95-9.00	LEMPUNG kelanauan hijau abu-abu sangat lunak dengan sebuah bekas laminasi lanau abu-abu dan bekas akar halus.	0.7 (65%)	
9-9.5	Idem, dengan bekas kerang dan batuan lanau berukuran kerikil kasar pada 0.2	0.5(100%)	
9.5-10.0	Idem		TAK TERGANGGU
10.5-12.0	LEMPUNG kelanauan abu-abu (terganggu) sangat lunak dengan lapisan setebal 8cm dari sisa-sisa kerang berukuran 1 hingga 3mm pada matriks lempung	0.55 (20%)	
12.0-12.5	Idem, tapi merupakan LEMPUNG hijau abu-abu		TAK TERGANGGU
12.0-12.95	Idem, dengan mengandung sisa-sisa kerang		SPT
12.95-14.0	LEMPUNG hijau abu-abu sangat lunak dengan lapisan setebal 1cm yang seluruhnya terdiri dari sisa-sisa kerang pada 0.3, 0.5,0.7	0.7 (75%)	
14.0-14.5	LEMPUNG abu-abu sangat lunak dengan bekas mottling abu-abu tua dari 0-0.1 dengan lapisan yang terdiri dari sisa-sisa kerang setebal 1cm pada dasarnya		
14.5-15.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak		TAK TERGANGGU
15.0-15.45	LEMPUNG abu-abu lunak		SPT
15.45-16.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak (sangat terganggu) dengan bekas kerang	0.5 (100%+)	
16.0-17.0	LEMPUNG kelanauan abu-abu sangat lunak dengan sedikit batuan lanau berukuran kerikil halus pada 0.33, lapisan setebal 5mm yang terdiri atas sisa pembusukan kayu berwarna hitam dan pasir pada 0.48, dan sekali-kali sisa-sisa kerang	0.85 (85%)	
17.0-17.5	Idem		TAK TERGANGGU
17.95-19.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak (terganggu) dengan bekas sisa-sisa kerang dan bekas lanau lemah coklat muda tersementasi berukuran kerikil halus	0.85(80%)	
19.0-19.5	0-0.15 Idem  0.15-0.4 LEMPUNG kelanauan abu-abu tua sangat lunak dengan beberapa sisa-sisa kerang berukuran 1-2mm dan sisa-sisa pembusukan kayu yang sangat banyak  0.4-0.5 LEMPUNG kelanauan coklat kuning dan abu-abu terlaminsi tipis sangat lunak	0.5 (100%)	
19.5-20.0	LEMPUNG abu-abu tua lunak		TAK TERGANGGU
20.0-20.45	Idem, dengan sisa-sisa kerang berukuran 1-2mm		SPT
20.45-21.00	LEMPUNG kelanauan abu-abu menjadi abu-abu tua lunak hingga firm dengan sedikit sisa pembusukan daun dan serat kayu coklat muda dan lapisan 0.5 hingga 1cm gambut dan sisa pembusukan kayu pada 0.15, 0.3	0.45(90%)	
21.0-22.0	0-0.55 LEMPUNG kelanauan abu-abu tua lunak dengan mottling coklat sekali-kali dengan bekas pembusukan kayu  0.55-0.7 LEMPUNG berkerikil halus firm dengan mottling kepasiran abu-abu biru dan coklat muda	0.7 (70%)	



Tabel B4 Penampang Fabrik pada Lubang Bor di Kaliwungu

Kedalaman (m)	Pemeriksaan	Rasio Pemulih	Contoh Tanah
6-7	0-0.25 LANAU kelepungan berpasir coklat kemerahan firm dengan sedikit kerikil kasar (TIMBUNAN)  0.25-0.5 LEMPUNG kelanauan hijau abu-abu sangat lunak dengan laminasi horisontal hijau tua sekali-kali dengan bekas akar pada 0.25 (LEMPUNG BAGIAN ATAS)	0.5 (50%)	
7.5-7.95	Idem		SPT
7.95-9.00	LEMPUNG kelanauan hijau abu-abu sangat lunak dengan sebuah bekas laminasi lanau abu-abu dan bekas akar halus.	0.7 (65%)	
9-9.5	Idem, dengan bekas kerang dan batuan lanau berukuran kerikil kasar pada 0.2	0.5(100%)	
9.5-10.0	Idem		TAK TERGANGGU
10.5-12.0	LEMPUNG kelanauan abu-abu (terganggu) sangat lunak dengan lapisan setebal 8cm dari sisa-sisa kerang berukuran 1 hingga 3mm pada matriks lempung	0.55 (20%)	
12.0-12.5	Idem, tapi merupakan LEMPUNG hijau abu-abu		TAK TERGANGGU
12.0-12.95	Idem, dengan mengandung sisa-sisa kerang		SPT
12.95-14.0	LEMPUNG hijau abu-abu sangat lunak dengan lapisan setebal 1cm yang seluruhnya terdiri dari sisa-sisa kerang pada 0.3, 0.5, 0.7	0.7 (75%)	
14.0-14.5	LEMPUNG abu-abu sangat lunak dengan bekas mottling abu-abu tua dari 0-0.1 dengan lapisan yang terdiri dari sisa-sisa kerang setebal 1cm pada dasarnya		
14.5-15.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak		TAK TERGANGGU
15.0-15.45	LEMPUNG abu-abu lunak		SPT
15.45-16.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak (sangat terganggu) dengan bekas kerang	0.5 (100%+)	
16.0-17.0	LEMPUNG kelanauan abu-abu sangat lunak dengan sedikit batuan lanau berukuran kerikil halus pada 0.33, lapisan setebal 5mm yang terdiri atas sisa pembusukan kayu berwarna hitam dan pasir pada 0.48, dan sekali-kali sisa-sisa kerang	0.85 (85%)	
17.0-17.5	Idem		TAK TERGANGGU
17.95-19.0	LEMPUNG abu-abu sangat lunak (terganggu) dengan bekas sisa-sisa kerang dan bekas lanau lemah coklat muda tersementasi berukuran kerikil halus	0.85(80%)	
19.0-19.5	0-0.15 Idem  0.15-0.4 LEMPUNG kelanauan abu-abu tua sangat lunak dengan beberapa sisa-sisa kerang berukuran 1-2mm dan sisa-sisa pembusukan kayu yang sangat banyak  0.4-0.5 LEMPUNG kelanauan coklat kuning dan abu-abu terlaminsi tipis sangat lunak	0.5 (100%)	
19.5-20.0	LEMPUNG abu-abu tua lunak		TAK TERGANGGU
20.0-20.45	Idem, dengan sisa-sisa kerang berukuran 1-2mm		SPT
20.45-21.00	LEMPUNG kelanauan abu-abu menjadi abu-abu tua lunak hingga firm dengan sedikit sisa pembusukan daun dan serat kayu coklat muda dan lapisan 0.5 hingga 1cm gambut dan sisa pembusukan kayu pada 0.15, 0.3	0.45(90%)	
21.0-22.0	0-0.55 LEMPUNG kelanauan abu-abu tua lunak dengan mottling coklat sekali-kali dengan bekas pembusukan kayu  0.55-0.7 LEMPUNG berkerikil halus firm dengan mottling kepasiran abu-abu biru dan coklat muda	0.7 (70%)	



Analisis mineral atau penentuan umur dengan *carbon dating* tidak dilakukan pada lempung di daerah Semarang.

**Lempung Pleistosen** umumnya terdiri atas lempung abu-abu stif sampai dengan keras tetapi kadang-kadang firm sampai stif makin kedalam. Persis ke arah barat Semarang, lapisan terutama terdiri dari lapisan pasir kelanauan atau lanau kepasiran. Lapisan ini dapat disamakan dengan Aluvium tua yang ditemukan di semenanjung Malaysia.

Ada beberapa bukti yang menunjukkan bahwa lempung yang lebih stif pada unit ini ditemukan pada kedalaman yang dangkal, yang karenanya menandakan lempung ini berada di atas muka air laut selama beberapa waktu, sementara lempung yang lebih dalam tidak.

**Pasir, Kerikil dan Lempung Pleistosen:** di bawah kedalaman sekitar 60 m; lapisan ini merupakan akifer utama dataran pantai yang dapat dikembangkan untuk suplai air. Di daerah Semarang telah terjadi penurunan muka air tanah yang besar; pengukuran terakhir menunjukkan penurunan maksimum sebesar 27m.

Akifer tersebut ditemukan pada berbagai kedalaman antara 60 dan 100 m di bawah muka air laut. Pemboran di lokasi timbunan percobaan di Kaliwungu pasir ditemukan pada kedalaman 62 m.

**Formasi Damar:** konglomerat dan breksi, tersingkap ke arah selatan dan tidak ditemukan sepanjang garis pantai, dengan kedalaman lebih dari 300 m.

Menjauhi dataran pantai, ketinggian daratan naik dengan cepat dengan formasi vulkanik dan volcano yang terbentang luas sepanjang pulau Jawa. Oleh karena itu sedimen-sedimen marin dan sedimen dekat pantai keseluruhannya berasal dari batuan vulkanik. Lempung Pleistosen biasanya mengandung bulatan (*nodules*) coklat berukuran kerikil dan lanau hitam dari abu vulkanik.

#### B.3.4.1

### Hidrogeologi

Daerah banjir sering terendam dan muka air banjir dikendalikan untuk keperluan irigasi sawah dan peternakan ikan. Menurut Whitten dkk. (1997), permukaan air untuk peternakan ikan diatur pada ketinggian antara pertengahan pasang dan air surut yang terjadi.

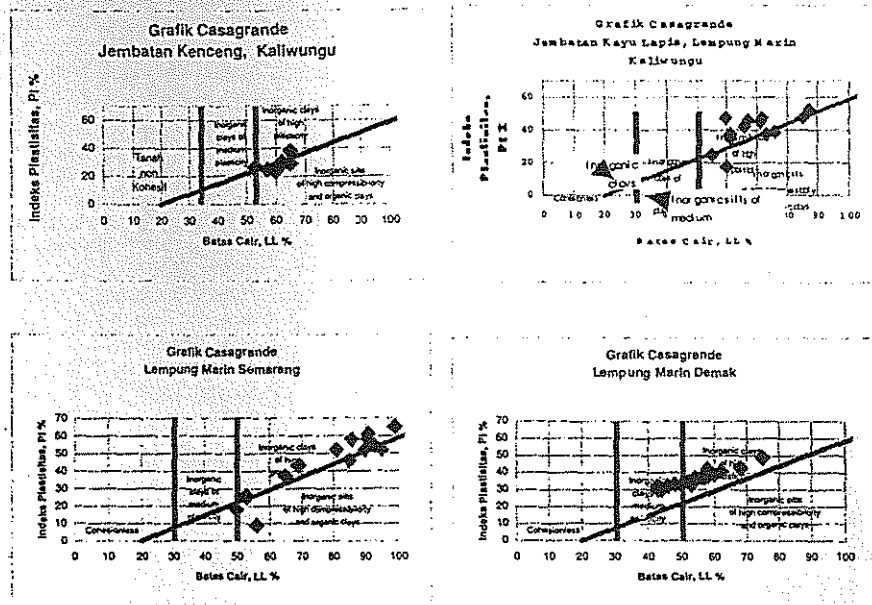
Salinitas air laut di Laut Jawa lebih rendah dibandingkan dengan salinitas air laut umumnya karena kombinasi laut yang sangat dangkal (hanya 50 m pada pantai Jawa sebelah utara) dan air hujan yang tawar dalam jumlah yang besar.

Di lokasi timbunan percobaan di Kaliwungu, permukaan piezometrik akifer bagian bawah, telah diukur selama enam bulan dan permukaan piezometrik berada pada kedalaman 6,2 sampai 6,4 m di bawah permukaan tanah.

### B.3.4.2

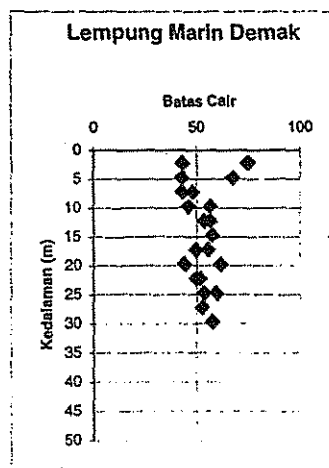
## Sifat-sifat Tanah

Nilai-nilai batas Atterberg dari empat lokasi ditunjukkan pada Gambar B19.



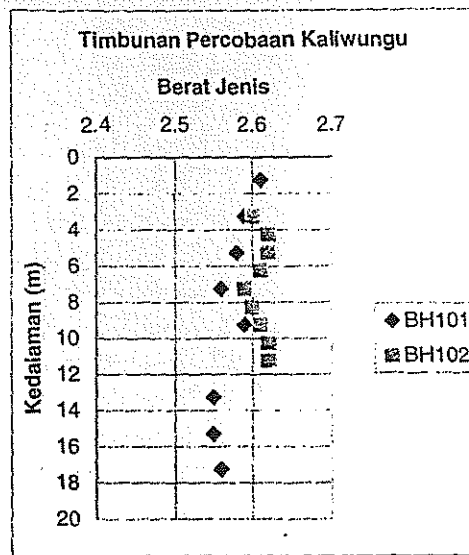
Gambar B19 Batas-batas Atterberg untuk Lempung di Daerah Semarang

Di Demo, beberapa hasil pengujian memperlihatkan bahwa lapisan lempung memiliki plastisitas medium, tetapi pemerataan batas cair terhadap kedalaman, memperlihatkan lempung bagian atas yang telah mengalami pelapukan, seperti terlihat pada Gambar B20. Reduksi plastisitas semacam ini akan konsisten dengan proses pelapukan. Menarik untuk disimak bahwa tanda-tanda pelapukan dapat dilihat sampai dengan kedalaman 10 m.



Gambar B20 Batas Cair Lempung Demak

Nilai *berat jenis* diperlihatkan pada Gambar B21.



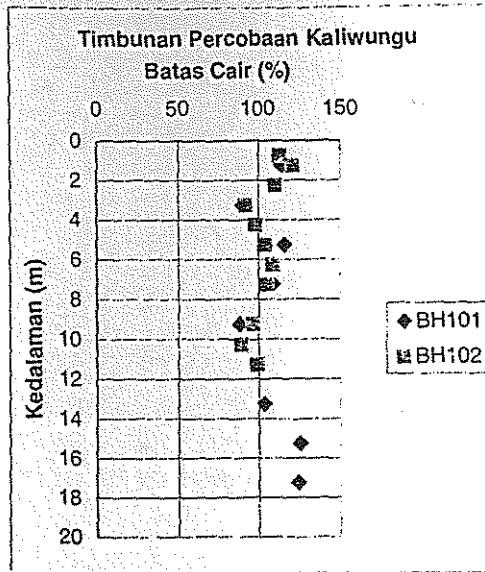
Gambar B21 Berat Jenis di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

Berat jenis bervariasi pada kisaran yang sangat sempit yaitu 2.55 sampai 2.65 yang merupakan suatu kisaran yang sangat kecil dibandingkan dengan data lain di daerah Semarang; biasanya nilai-nilai terendah sekitar 2,2 pernah terukur.

Dengan mempertimbangkan hasil kandungan organik yang rendah, maka data dari hasil uji komersil rutin yang menghasilkan nilai-nilai yang rendah ini cukup mencurigakan.

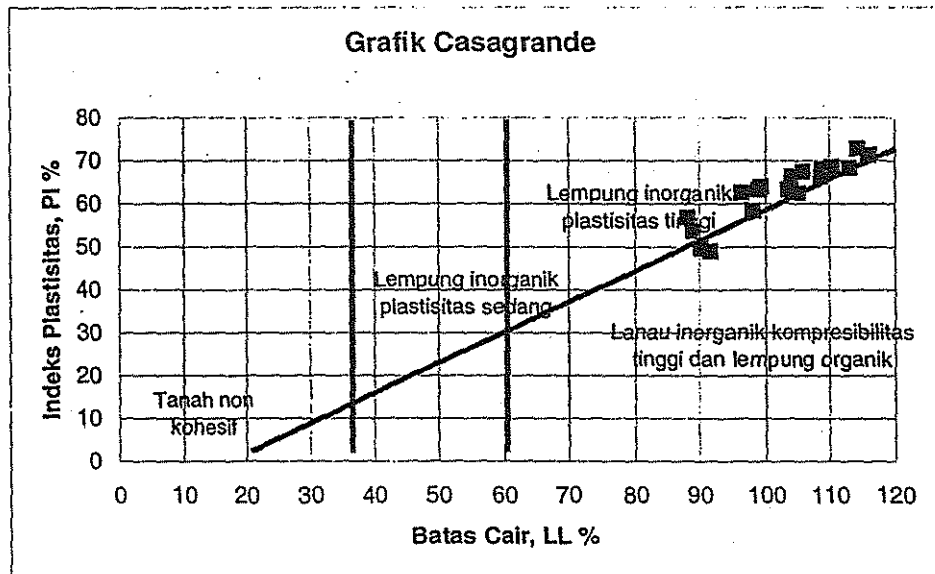
#### Batas-batas Atterberg pada Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

Batas cair diperlihatkan untuk kedua lubang bor pada gambar di bawah ini. Ada kecocokan yang baik di antara kedua lubang bor tersebut. Adanya material yang memiliki plastisitas yang lebih tinggi dan lebih rendah harus diperhatikan, karena merupakan tanda fase rawa hulu/rawa/estuarin dari lempung marin Holosen.



Gambar B22 Hasil Batas Cair pada Lokasi Timbunan Percobaan Kaliwungu

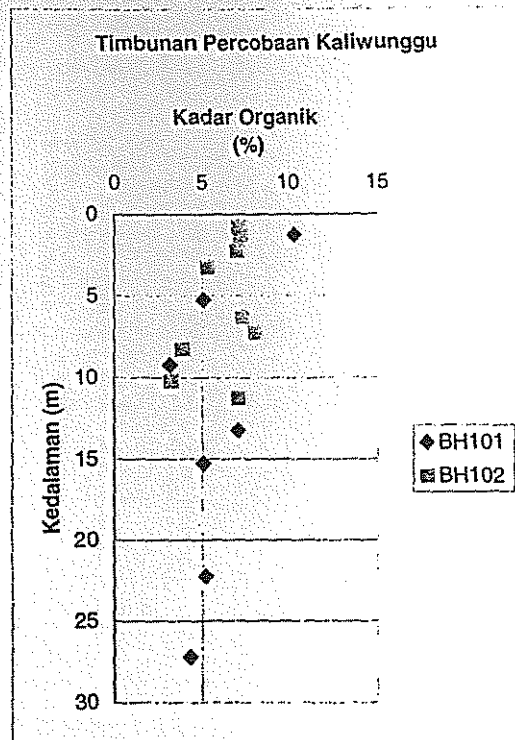
Pemeraan titik-titik tersebut berada persis di atas garis A pada Diagram Casagrande seperti terlihat pada Gambar B23. Lapisan tanah ini biasanya sedikit lebih plastis dibandingkan dengan tanah lain di dataran Jawa sekitar Semarang



Gambar B23 Batas-batas Atterberg dari Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

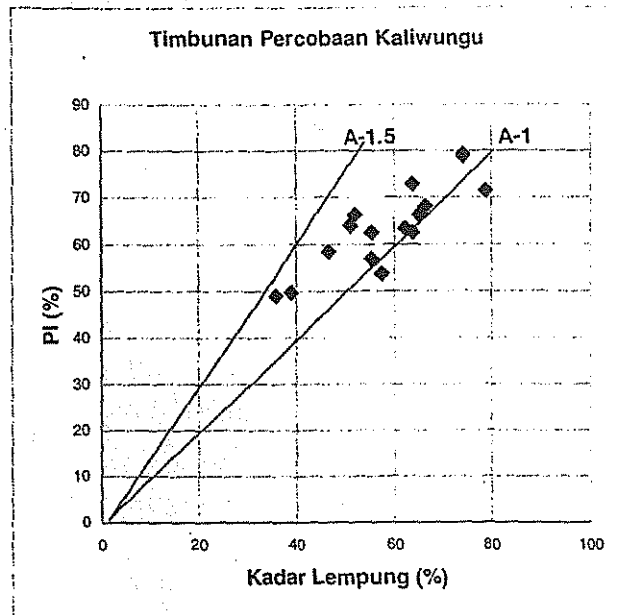
Hasil ini menandakan kandungan organik yang rendah, tetapi seperti terlihat pada Gambar B24, didapat kadar organik sebesar 10% (berdasarkan Kandungan Organik = 1-kehilangan pijar). Penentuan kandungan karbonat belum dilakukan.

Horison penunjuk organik pada lapisan bawah dari lempung Holosen yang dikenali di tempat lain belum teridentifikasi dari pengujian ini.



Gambar B24 Kandungan Organik di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

Kandungan lempung mempunyai korelasi yang baik dengan indeks plastisitas seperti ditunjukkan pada Gambar B25. Tingkat keaktifan, A berada dalam kisaran yang sedikit di bawah 1 sampai 1,5.



Gambar B25 Tingkat Keaktifan Lempung di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

### Kuat Geser Lempung Marin

Untuk lapisan lempung terkonsolidasi normal tidak tersemem atau karena variasi pengaruh prakonsolidasi semu, kuat geser dapat diharapkan naik secara linear dengan nilai yang sangat kecil di permukaan. Laju kenaikan biasanya berhubungan dengan tegangan efektif vertikal,  $p$ , seperti nilai  $c_u/p$ .

Bjerrum (1973) menghubungkan nilai  $c_u/p$  tersebut dengan indeks plastisitas yang memberikan kurva untuk lempung muda dan untuk lempung tua (atau setelah terkonsolidasi) seperti ditunjukkan pada Gambar B26. Data untuk lempung tropis lunak telah diperakan pada grafik ini (Cox, 1970; Hussein dkk., 1996; Choa dkk., 1996; Kobayashi dkk., 1990; Abdullah & Chandra, 1987).

Sangat menarik untuk menghubungkan data-data di bawah kurva Lempung Muda sebagai lempung terkonsolidasi kurang, atau mungkin beberapa teknik interpretasi lainnya. Namun dalam menganalisis data ini penting untuk memperhitungkan berbagai variabel yang berkaitan, terutama metoda pengujian lapangan, atau metoda pengambilan contoh tanah, penyimpanan dan perlakuan contoh, dan metoda uji laboratorium.

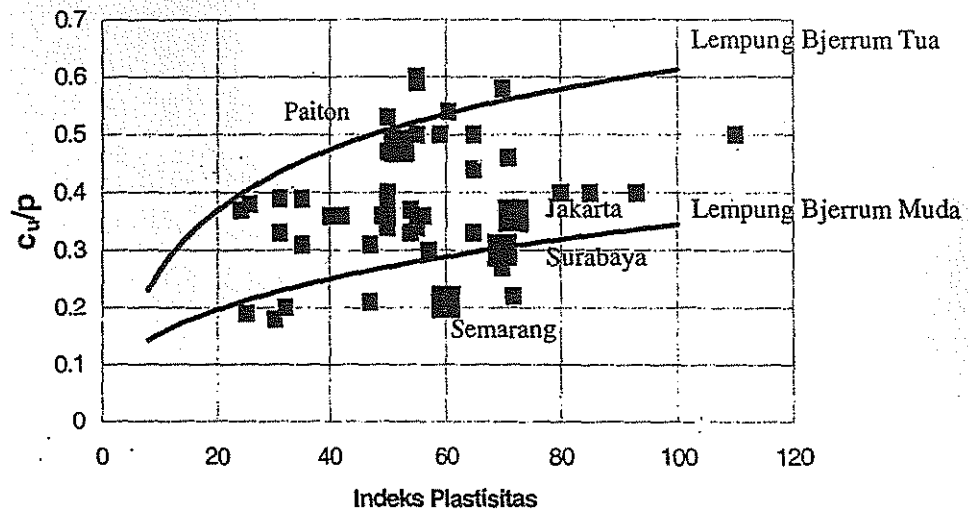
Penyelidikan terakhir dilakukan di lokasi pengujian timbunan percobaan di Kaliwungu, sekitar 20 km sebelah barat Semarang dan sekitar 4 km dari pantai kearah daratan. Pengujian di lapangan dengan menggunakan baling-baling Geonor memberikan hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar B27.

Bisa terlihat bahwa 5 m lapisan atas mempunyai nilai kuat geser puncak yang lebih tinggi dari yang diduga, yang kemungkinan diakibatkan oleh pelindihan lapisan lempung oleh air tawar atau karena pembentukan lapisan kerak, meskipun level permukaan hanya sedikit di atas muka air laut. Di bawah ini

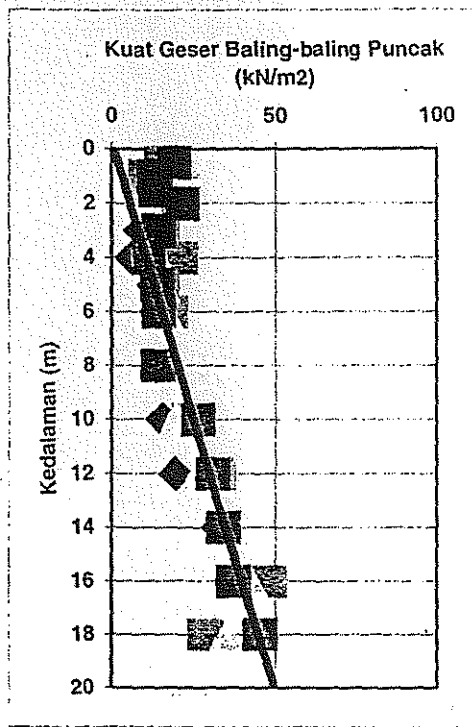
ditarik garis  $c_u/p = 0.4$ . Meskipun berada dalam kisaran nilai-nilai secara keseluruhan seperti terlihat pada Gambar B26, nilai yang didapatkan lebih tinggi dibandingkan nilai untuk Semarang dan lempung pantai lainnya di pulau Jawa bagian utara.

Metoda untuk mendapatkan kuat geser juga perlu diperhatikan seperti faktor koreksi baling-baling. Untuk hasil yang diperoleh dari laboratorium, gangguan terhadap contoh tanah perlu diperhitungkan. Sensitivitas lempung adalah penting seperti terlihat pada Gambar B28 dan Gambar B29. Untuk hasil pengujian kuat geser baling remasan, diperoleh nilai  $c_u/p$  sebesar 0.2, nilai ini berdekatan dengan nilai kuat geser di Semarang seperti yang dilaporkan sebelumnya.

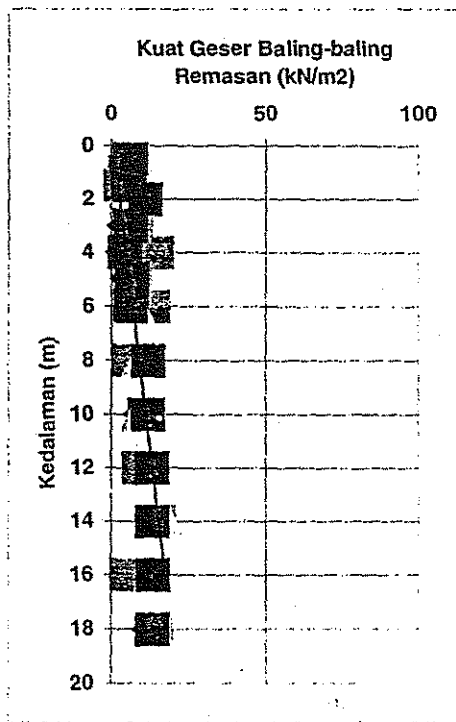
### Hubungan $c_u/p$



Gambar B26 Hubungan  $c_u/p$  untuk beberapa Lempung

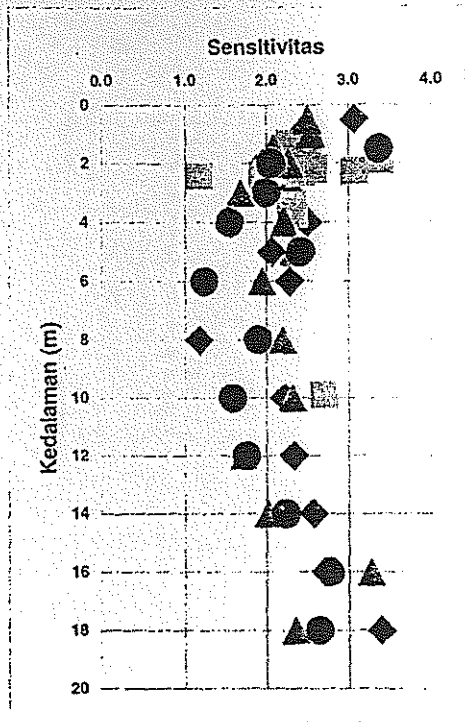


Gambar B27 Kuat Geser di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu.



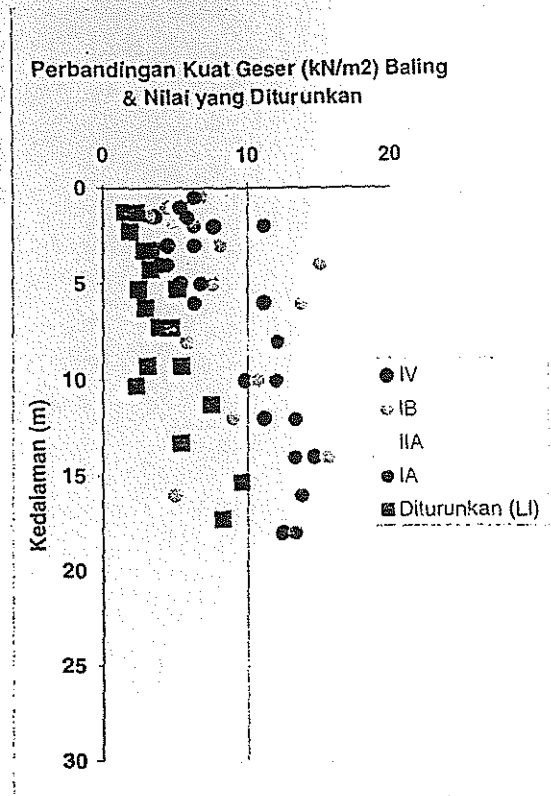
Gambar B28 Kuat Geser Baling-baling Remasan di Kaliwungu





Gambar B29 Sensitivitas dari Uji Geser Baling-baling

Nilai kuat geser tidak terdrainase yang diperoleh dari indeks cair dengan menggunakan hubungan yang diberikan oleh Wood diperlihatkan pada Gambar B30, yang dibandingkan dengan uji kuat geser baling-baling remasan.



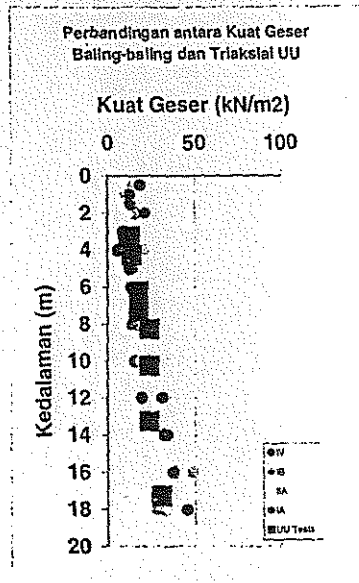
**Gambar B30** Nilai Kuat Geser pada Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

Nilai yang dihitung didapat sekitar setengah dari nilai remasan hasil pengujian, hal ini masih membutuhkan beberapa studi lebih lanjut

### Uji Triaksial Tak Terkonsolidasi Tanpa Tak Terdrainase

Pengujian dilakukan pada dua atau lebih benda uji pada berbagai tekanan kekang. Hasilnya telah diinterpretasi ulang, dengan keliling alasan bahwa contoh tanah tersebut diuji pada tekanan yang rendah yang mungkin memberikan hasil yang menyesatkan.

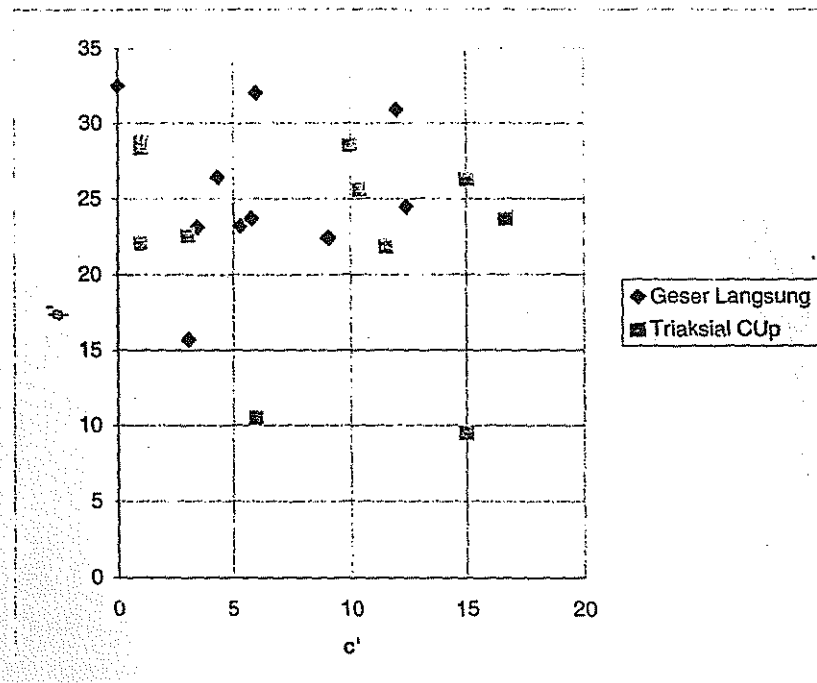
Hasilnya dibandingkan dengan hasil kuat geser baling-baling (lihat Gambar B31). Hal tersebut menunjukkan korelasi yang sangat baik di antara keduanya sampai ke-kedalaman 10 m. Di bawah kedalaman 10m, hasil uji triaksial lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengujian geser baling-baling, yang mungkin menandakan telah bertambahnya gangguan pada contoh tanah.



Gambar B31 Perbandingan Uji Kuat Geser di Lokasi Timbunan Percobaan Kaliwungu

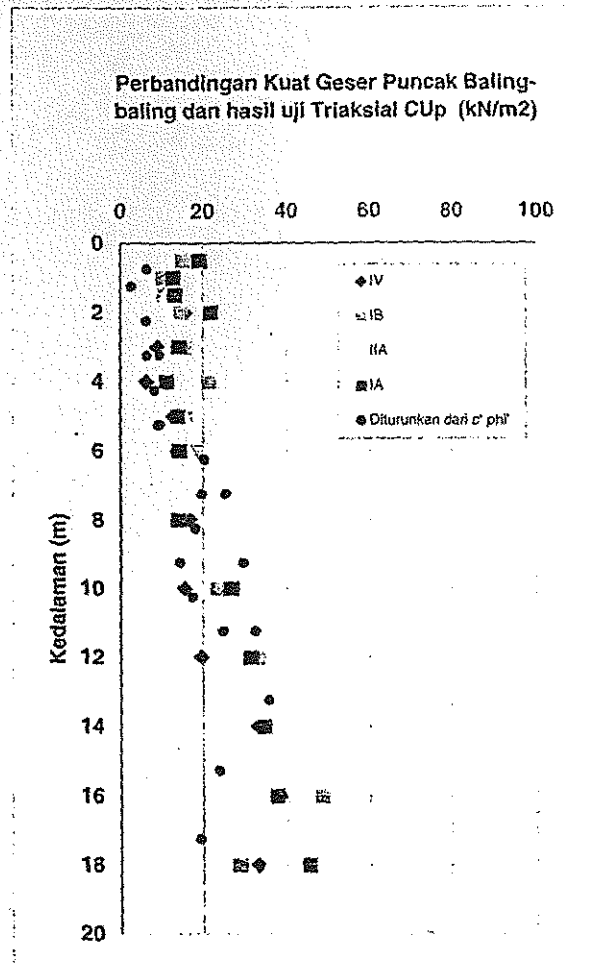
### Parameter Kuat Geser Efektif

Hasil-hasil dari pengujian triaksial dan geser langsung diperlihatkan pada Gambar B32. Tidak ada indikasi terdapat suatu hubungan antara  $c'$  dan  $\phi'$ , dan kedua nilai kadang-kadang lebih tinggi dibandingkan lempung marin yang normal.



Gambar B32 Parameter Kuat Geser Efektif di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu

Jika hasilnya dikonversi ke kuat geser terdrainase ekivalen, dengan mengambil tegangan efektif vertikal dari berat isi total dan mengasumsikan nilai  $k_0 = 0,5$ , kemudian hasilnya dibandingkan dengan data pengujian kuat geser baling-baling ditempatkan pada Gambar B33,



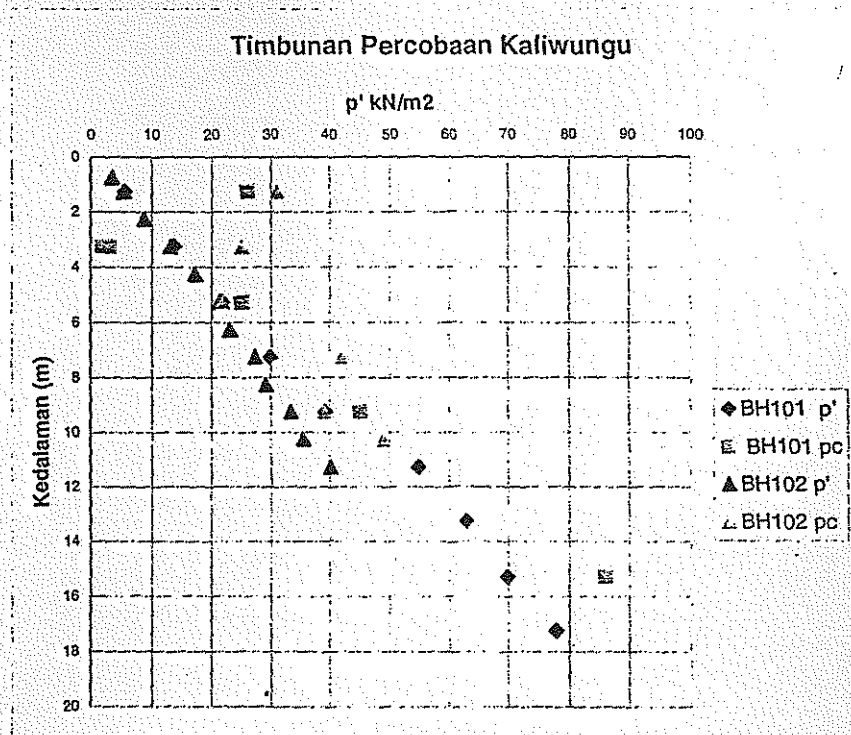
Gambar B33 Kuat Geser Tak Terdrainase yang Dibandingkan

Pada enam meter bagian atas, data triaksial agak lebih rendah dibandingkan data *kuat geser baling-baling*, dengan suatu faktor kurang lebih 2. Tetapi pada lapisan di bawahnya terdapat kesesuaian yang cukup baik.

### Kompresibilitas

Jika kita menghitung tegangan vertikal efektif dengan menggunakan berat isi curah, dan muka air tanah terletak 0,5 m di bawah permukaan tanah, kemudian ini dibandingkan dengan tekanan prakonsolidasi yang diperoleh dari pengujian konsolidasi, maka dapat disimpulkan:

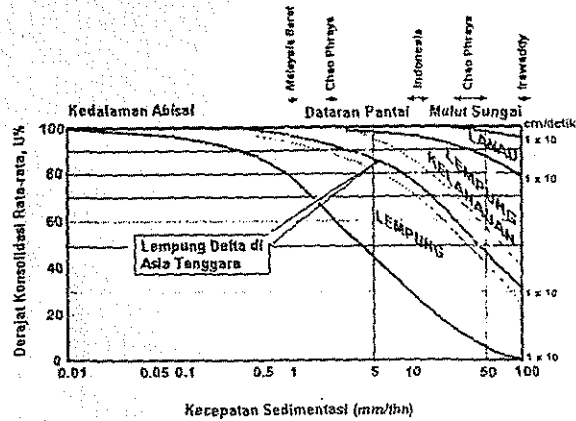
- tegangan efektif yang dihitung untuk kedua lubang bor cukup konsisten,
- tekanan prakonsolidasi memperlihatkan konsistensi yang cukup baik, kecuali dua nilai di BH101 contoh 002,
- Rasio konsolidasi lebih (*Overconsolidation Ratio, OCR*) berkurang dari nilai yang tinggi di permukaan ke suatu nilai yang tidak lebih besar dari satu pada kedalaman 3 m. Hal ini cenderung mendukung interpretasi Puslitbang Geologi yang menyatakan adanya endapan dataran banjir setebal 2 sampai 3 m di permukaan, yang menunjukkan *konsolidasi lebih* sebagai akibat dari pengeringan musiman.



Gambar B34 Tegangan Vertikal Efektif dan Tekanan Pra Konsolidasi di Lokasi Timbunan Percobaan di Kaliwungu.

### Lempung Marin Semarang Terkonsolidasi Kurang

Cox (1970), memberikan suatu hubungan antara laju pengendapan dan derajat konsolidasi berdasarkan penelitian oleh Morgenstern terhadap lapisan lempung setebal 15 m, yang memperlihatkan dataran pantai Indonesia telah mengalami derajat konsolidasi dari 70 sampai 80% seperti terlihat pada Gambar B35.

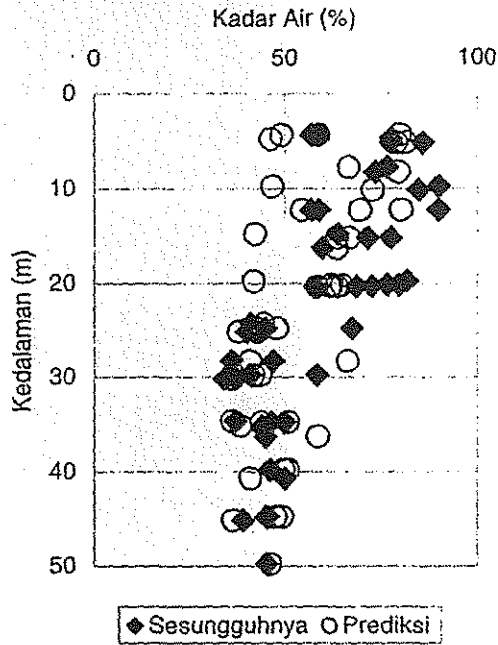


Gambar B35 Hubungan Antara Laju Pengendapan dan Derajat Konsolidasi.

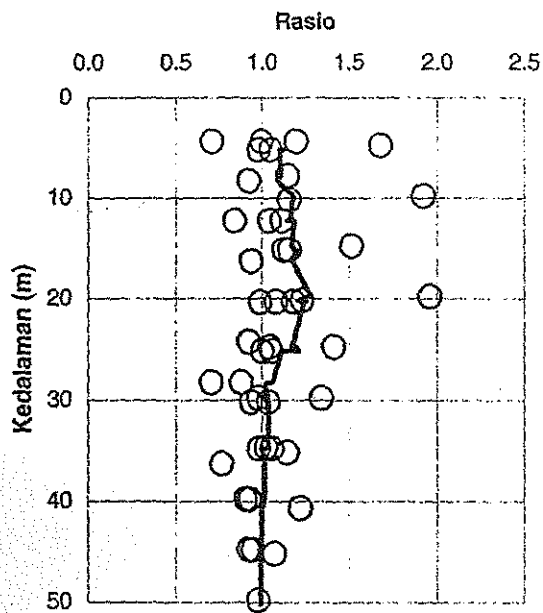
Penambahan pantai berlangsung pada kecepatan sekitar 1 km setiap 100 tahun pada masa *resen* seperti terlihat pada Gambar B36.

Kemiringan lereng permukaan 1:1000-1:2000, merupakan laju pengendapan dari 0,5 sampai 1 m per 100 tahun atau 5 sampai 10 mm/tahun. Untuk ketebalan lempung Holosen 20 m, laju rata-rata pengendapan selama keseluruhan periode Holosen adalah 20 mm/tahun. Laju pengendapan di masa *resen* biasanya lebih rendah dari rata-rata selama keseluruhan periode pengendapan. Meskipun nilai yang dihitung konsisten dengan data yang diberikan oleh Cox, dapat diharapkan bahwa lapisan lempung pantai Jawa sebelah utara tidak terkonsolidasi kurang secara signifikan.

Skempton (1970) mengidentifikasi suatu hubungan antara batas cair dan kadar air untuk lapisan lempung yang terkonsolidasi akibat gravitasi. Dengan mengambil sekumpulan data lempung Holosen pada kedalaman 30 m, hubungan antara kadar air prediksi dan sesungguhnya menurut Skempton diperlihatkan pada Gambar B36 dan Gambar B37.



Gambar B36 Kadar Air Prediksi dan Sesungguhnya.

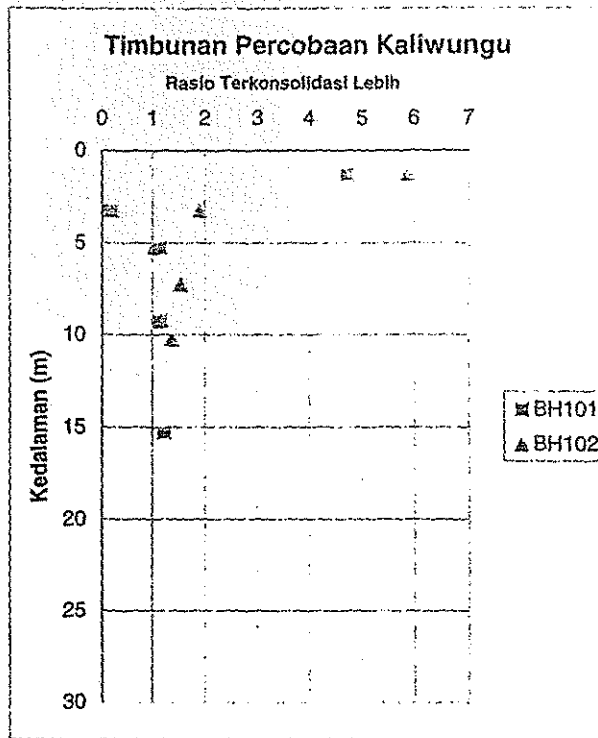


Gambar B37 Rasio antara Kadar Air Prediksi dan Sesungguhnya.

Didapat hasil yang agak tersebar, tetapi garis rata-rata pada lempung Pleistosen mendekati hubungan terkonsolidasi normal. Dengan mengambil semua data dan mencocokkan kurva rata-rata seperti yang diperlihatkan pada Gambar B32, akan memberikan bukti bahwa lapisan lempung Holosen telah terkonsolidasi kurang.

Meskipun demikian bila nilai-nilai ekstrim diabaikan, dan data untuk lempung Holosen agak konsisten dengan endapan yang terkonsolidasi normal.

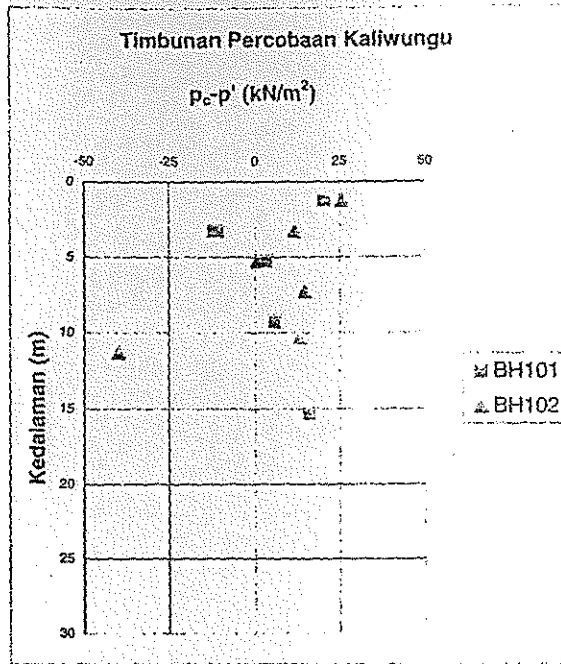
OCR – terhitung diperlihatkan pada Gambar B38



Gambar B38 Rasio Terkonsolidasi Lebih dari Uji Konsolidasi Odometer

Pemeraan nilai ( $p_c - p'$ ) seperti diperlihatkan pada Gambar B39 menunjukkan suatu kecenderungan yang agak konsisten (mengabaikan BH101 S002): Suatu konsolidasi lebih, sekitar  $25 \text{ kN/m}^2$  pada permukaan berkurang menjadi  $10-15 \text{ kN/m}^2$  pada kedalaman 5m.

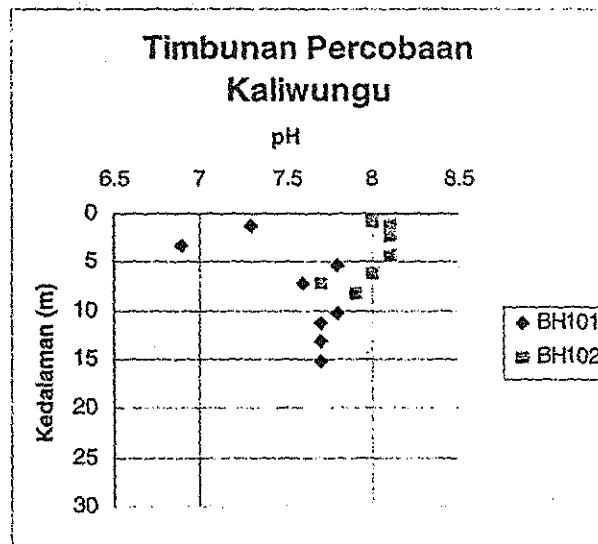




Gambar B39 Konsolidasi Lebih dari Uji Konsolidasi Odometer

### Pengujian Kimiawi

Hasil uji pH menunjukkan kondisi netral sampai asam, seperti diperlihatkan pada Gambar B40.



Gambar B40 pH dari Lempung Holosen

Tidak ada data pengujian kimia yang lain.

### 3.3.5

## PAITON

Data diperoleh dari makalah yang dibuat oleh Brenner dkk (1987). Paiton terletak kurang lebih  $113^{\circ}32'BT$ ,  $7^{\circ}42'LS$ .

Topografi pada daerah ini sangat berbeda dengan dataran pantai Jawa Utara pada umumnya. Kerucut vulkanik dan aliran lava berada dekat dengan laut, dan lempung marin tertutup oleh endapan aluvial. Ketebalan lempung marin meningkat dari nol pada 250 m ke arah daratan dekat dengan naiknya permukaan tanah, sampai dengan tebal 15 m pada 500 m ke arah laut.

Serangkaian analisis mineral lempung menunjukkan tidak ditemukan haloysit dan alofan dan bahwa mineral lempung terdiri dari smektit dan kaolinit; tetapi data kuantitatif tidak ada. Brenner dkk. menghubungkan kuat geser dan permeabilitas yang tinggi ini dengan mineraloginya.

Tingkat keaktifan lempung marina didapat berkisar 1,5 sampai 2, dengan batas cair bertambah dari 70% sampai 100% menurut kedalamannya.

## 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  
attapulgitite  
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)

berem pratibobot  
berem tekan  
berlapis  
berlensa  
biotit  
bor  
bor inti  
bor mesin  
bor tangan  
cair  
ceklist  
cetakan  
cincin cetak konsolidasi  
cincin karet-O  
cincin pemotong, cincin pembentuk  
cincin pengukur beban  
contoh tanah  
contoh tanah blok  
contoh tanah dipadatkan  
contoh tanah inti  
dasit  
dataran banjir, bantaran banjir  
daya dukung  
deformasi, perubahan bentuk  
degradasi  
dekomposisi  
denah kunci, peta kunci  
derajat kejenuhan  
desikasi  
desikator  
dilatansi  
disipasi  
dolomit  
drainase  
dukungan penuh  
dukungan setempat  
eksavator  
ekstensometer batang  
ekstensometer magnetik  
ekstensometer penduga  
ekstruder  
elevasi muka air  
eligosen  
endapan  
endapan bawah air  
endapan lakustrin  
eosen  
fabrik  
fayalit  
felspar  
fibrik  
fibros, berserat  
firm

## ENGLISH

counterweight berm  
pressure berm  
stratified  
lensed  
biotite  
auger  
core drilling, core drill  
rotary drilling machine  
hand auger  
liquid  
checklist  
mold, mould  
consolidation ring  
O-ring seal  
trimmer, cutting ring  
proving ring  
soil sample  
block sample  
compacted sample  
core sample  
dasite  
flood plain  
bearing capacity  
deformation  
degradation  
decomposition  
key plan  
degree of saturation  
desiccation  
desiccator  
dilatancy  
dissipation  
dolomite  
drainage  
full support  
local support  
excavator  
rod extensometer  
magnetic extensometer  
probe extensometer  
extruder  
water level  
eligocene  
deposit  
sub aquatic sediment  
lacustrine deposits  
eocene  
fabric  
fayalite  
feldspar  
fibric  
fibrous  
firm

## BAHASA INDONESIA

(lanjutan)

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 kuartar  
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

## ENGLISH

*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*  
*homogeneous*  
*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)

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

## ENGLISH

*full depth*  
*peaty*  
*joint*  
*silty*  
*workability*  
*clayey*  
*gradient*  
*cenozoid*  
*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*  
*manile 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)

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  
olvin  
ombrogenos, ombrogenik  
oprit jembatan  
orogen  
ortoklas  
otogenesis  
paleogen  
paleosen  
paparan sunda  
parit

## ENGLISH

*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)

patok geser  
pekerjaan tanah  
pelapukan  
pelat bertiang, kaki seribu  
pelat penurunan  
pelepasan tegangan  
pelindihan  
peluang, probabilitas  
pemancangan desak  
pemantauan  
pembacaan awal  
pembentuk rongga  
pemberat  
pembobotan  
pemboran putar  
pembusukan  
pemeraan  
pemeriaan  
pemeriaan tanah  
penambahan beban  
penampang  
penampangan  
penanda penurunan  
penanda penurunan permukaan  
penanganan contoh tanah  
pendebuan  
pendugaan  
penetrasi  
penetrometer konus  
pengambil contoh berdinding tipis  
pengambil contoh piston  
pengambil contoh piston bebas  
pengambil contoh tekan  
pengambil contoh tumbuk  
pengambil contoh tumbuk terbuka  
pengambilan contoh blok  
pengambilan contoh tanah  
pengembangan  
pengeringan  
penggantian  
penggembungan  
pengujian  
pengukur deformasi  
pengukur tekanan  
peninjauan lapangan  
pneumatik  
penurunan  
penurunan beda  
penurunan segera  
penyalir  
penyalir alami  
penyalir horisontal  
penyalir pasir

## ENGLISH

*offset peg*  
*earthwork*  
*weathering*  
*piled slab*  
*settlement plate*  
*stress relief*  
*leaching*  
*probability*  
*driven displacement*  
*monitoring*  
*initial reading*  
*void former*  
*weights*  
*weighting*  
*rotary drilling*  
*humification*  
*plotting*  
*description*  
*soil description*  
*surcharging*  
*log*  
*logging*  
*settlement marker*  
*surface settlement marker*  
*sample handling*  
*dusting*  
*sounding*  
*penetration*  
*cone penetrometer*  
*thin walled sampler*  
*piston sampler*  
*free piston sampler*  
*push sampler*  
*drive sampler*  
*open drive sampler*  
*block sampling*  
*sampling*  
*swelling*  
*dewatering*  
*replacement*  
*heaving*  
*testing*  
*deformation gauge*  
*pressure gauge*  
*reconnaissance*  
*pneumatic*  
*settlement*  
*differential settlement*  
*immediate settlement*  
*drain*  
*natural drain*  
*horizontal drain*  
*sand drain*

## 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  
punggung bukit  
rangkai  
rasio friksi  
rasio pemulihan, angka pemulihan  
rasio Poisson  
rasio susut  
rawa bakau  
rawa hulu  
regangan  
regangan aksial  
rekompresi  
temasan  
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 hidrolis  
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 organik  
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  
flocculated structure  
feasibility study  
desk study  
subducts  
internal friction angle  
ignition temperature  
test pit  
draw drown  
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