

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

**Panduan Geoteknik 4**  
**Desain dan Konstruksi**

Edisi Pertama Bahasa Indonesia © Juli 2002

**WSP International**

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

# Prakata

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

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

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

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

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

## **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 4	1
1.1	Batasan dari Panduan	1
1.2	Struktur Manajemen untuk Pekerjaan Geoteknik	1
1.3	Pendekatan terhadap Desain Pekerjaan Geoteknik	3
1.4	Permasalahan	5
1.5	Solusi atau Pemecahan Masalah	5
1.5.1	Pendahuluan	5
1.5.2	Tipe Solusi Geoteknik	6
2	Pertimbangan Menyeluruh dalam Desain	8
2.1	Umum	8
3	Solusi dengan Pekerjaan Tanah	11
3.1	Pendahuluan	11
3.2	Penggantian Material	11
3.2.1	Teknik	11
3.2.2	Metode dan Prosedur	12
3.2.3	Aplikasi	13
3.2.4	Pertimbangan Pelaksanaan	15
3.3	Berem Pratibobot	15
3.3.1	Teknik	15
3.3.2	Metode dan Prosedur	17
3.3.3	Pertimbangan Konstruksi	18
3.4	Penambahan Beban	18
3.4.1	Teknik	18
3.4.2	Metode dan Prosedur	18
3.4.3	Aplikasi	21
3.4.4	Pertimbangan Pelaksanaan	21
3.5	Konstruksi Bertahap	22
3.5.1	Teknik	22
3.5.2	Metode dan Prosedur	23
3.5.3	Pertimbangan Pelaksanaan	24
3.6	Penggunaan Material Ringan	24
3.6.1	Teknik	24
3.6.2	Metode dan Prosedur	24
3.6.3	Aplikasi	25
4	Solusi dengan Perbaikan Tanah	26
4.1	Pendahuluan	26
4.2	Penyalir Vertikal	26

4.2.1	Teknik .....	26
4.2.2	Metode dan Prosedur.....	29
4.2.3	Prosedur Instalasi .....	30
4.2.4	Selimut Pasir .....	31
4.2.5	Pertimbangan Pelaksanaan.....	33
4.2.6	Contoh Penggunaan .....	35
4.3	Tiang.....	35
4.3.1	Teknik .....	35
4.3.2	Tipe-tipe Tiang.....	36
4.3.3	Metode Transfer Beban Timbunan ke Tiang .....	37
4.3.4	Pertimbangan Pelaksanaan.....	39
4.3.5	Contoh Penggunaan .....	40
4.4	Matras .....	40
4.4.1	Teknik .....	40
4.4.2	Contoh Penggunaan .....	41
4.5	Metode Perbaikan Tanah Lainnya .....	41
5	Persiapan Desain.....	44
5.1	Interpretasi Geologi .....	44
5.2	Zonasi Lokasi .....	45
5.3	Pemilihan Parameter Geoteknik .....	46
5.3.1	Pendahuluan.....	46
5.3.2	Kisaran Nilai yang Dapat Diterima.....	46
5.3.3	Pemeriksaan Korelasi.....	47
5.3.4	Menyimpulkan Hasil Penilaian .....	47
5.3.5	Pemilihan Parameter Desain .....	47
5.4	Parameter Material Timbunan .....	50
5.5	Pembebanan dan Kriteria Desain.....	50
5.5.1	Beban Lalu Lintas .....	50
5.5.2	Faktor Keamanan .....	51
5.5.3	Kriteria Deformasi .....	53
5.5.4	Beban Gempa.....	54
6	Solusi Desain dan Analisis .....	57
6.1	Pendahuluan.....	57
6.2	Stabilitas Timbunan.....	58
6.3	Penurunan pada Timbunan .....	59
6.4	Penyalir Horisontal .....	60
6.5	Penggantian .....	61
6.6	Berem Pratibobot.....	62
6.7	Penambahan Beban.....	64
6.8	Konstruksi Bertahap .....	65

6.9	Timbunan dengan Perkuatan .....	67
6.9.1	Pendahuluan .....	67
6.9.2	Sifat-sifat Geotekstil .....	68
6.9.3	Faktor Reduksi Rangkak .....	69
6.9.4	Analisis Stabilitas .....	70
6.10	Matras Bertiang .....	71
6.11	Penyalir Vertikal .....	71
6.12	Desain Tiang .....	71
7	Interaksi Tanah dan Bangunan .....	73
8	Pertimbangan untuk Pelebaran Jalan .....	76
9	Proses Pengambilan Keputusan .....	78
9.1	Pengantar .....	78
9.2	Mengidentifikasi Masalah yang harus Dipecahkan .....	80
9.3	Mengidentifikasi Faktor-FAKTOR yang Akan Mempengaruhi Proses Pengambilan Keputusan .....	80
9.4	Pemilihan dan Analisis atas Berbagai Pilihan .....	81
9.5	Mengidentifikasi Biaya untuk Setiap Pilihan .....	82
9.6	Penetapan Pilihan Terbaik .....	84
9.7	Pelaporan Proses Pengambilan Keputusan dan Rekomendasi .....	86
10	Laporan Desain .....	87
11	Uji Coba .....	93
12	Kontrak dan Pelaksanaan .....	95
12.1	Pengadaan Kontrak .....	95
12.2	Pelaksanaan .....	95
13	Pemantauan Lapangan .....	97
13.1	Merencanakan Program Pemantauan dan Instrumentasi .....	97
13.2	Desain Timbunan .....	98
13.3	Kondisi Lapisan Bawah Permukaan .....	98
13.4	Pra Analisis .....	98
13.5	Jumlah Instrumentasi .....	98
13.6	Lokasi Instrumen .....	99
13.7	Pemasangan .....	100
13.8	Perlindungan .....	101
13.9	Prosedur dan Frekuensi Pemantauan .....	101
13.10	Catatan Penimbunan .....	102
13.11	Pelat Penurunan .....	103
13.12	Instrumentasi Khusus .....	103

14 Referensi .....	104
--------------------	-----

#### Lampiran

Lampiran A	Ceklis
Lampiran B	Korelasi Parameter Geoteknik
Lampiran C	Perhitungan Penurunan pada Gambut Berdasarkan Metode Hanrahan
Lampiran D	Desain Matras Geotekstil untuk Timbunan Bertiang
Lampiran E	Isi Laporan
Lampiran F	Garis Besar Prosedur untuk Timbunan Percobaan
Lampiran G	Instrumentasi
Lampiran H	Lembar Catatan Pemasangan Instrumentasi

#### Gambar

Gambar 1-1	Segitiga Kualitas Waktu Biaya .....	4
Gambar 3-1	Penggantian Total.....	12
Gambar 3-2	Penggantian Sebagian .....	12
Gambar 3-3	Berem Pratibobot Tunggal .....	16
Gambar 3-4	Berem Pratibobot Ganda .....	16
Gambar 3-5	Metode Konstruksi untuk Berem pada Gambut .....	17
Gambar 3-6	Kecepatan Konsolidasi Lapisan Lempung .....	19
Gambar 3-7	Beban Tambahan yang Dikombinasikan dengan Sistem Lain .....	20
Gambar 3-8	Kenaikan Kuat Geser dari Konsolidasi .....	22
Gambar 3-9	Kecepatan Penimbunan yang Dikontrol .....	23
Gambar 3-10	Penimbunan yang Dikontrol Bertahap .....	23

Gambar 4-1	Bagan Alir Pengambilan Keputusan untuk Metode Penyalir Vertikal .....	29
Gambar 4-2	Hubungan dari Ukuran Butir dengan Permeabilitas pada Pasir (GCO, 1982).....	33
Gambar 4-3	Pengaruh dari Kehalusan pada Permeabilitas.....	33
Gambar 4-4	Prosedur Instalasi PVD menembus Selimut Pasir .....	35
Gambar 4-5	Timbunan yang Didukung oleh Tiang .....	37
Gambar 4-6	Variasi Lantai Bertiang ( <i>Piled Slabs</i> ).....	39
Gambar 4-7	Konfigurasi Kepala Tiang .....	40
Gambar 4-8	Konstruksi Matras Tiang .....	42
Gambar 5-1	Contoh Prosedur untuk Menetapkan Unit Tanah.....	46
Gambar 5-2	Contoh Pemilihan Parameter Desain.....	50
Gambar 5-3	Penggunaan Faktor Keamanan untuk Membatasi Regangan.....	53
Gambar 5-4	Zona Pengaruh untuk Pergerakan Lateral .....	55
Gambar 5-5	Zona Gempa di Indonesia .....	56
Gambar 5-6	Skema Perubahan Faktor Keamanan sepanjang Umur Timbunan .....	57
Gambar 6-1	Penambahan Penurunan Regional dalam Perhitungan Penurunan.....	61
Gambar 6-2	Batas Galian untuk Penggantian Tanah Lunak .....	62
Gambar 6-3	Grafik Desain untuk Berem Pratibobot .....	64
Gambar 6-4	Analisis Desain Penambahan Beban .....	65
Gambar 6-5	Pelebaran Penambahan Beban.....	66
Gambar 6-6	Analisis Konstruksi Bertahap.....	67
Gambar 6-7	Kuat Geser vs Hubungan Kedalaman .....	67
Gambar 6-8	Kuat Geser Meningkat terhadap Konsolidasi.....	68

Gambar 6-9	Penyesuaian Pertambahan Kuat Geser untuk Konsolidasi Lebih .....	68
Gambar 6-10	Kuat Tarik Beberapa Material Geotekstil.....	69
Gambar 6-41	Contoh Kurva Rangkak Geotekstil .....	71
Gambar 6-52	Perhitungan Titik Netral Tiang .....	73
Gambar 8-1	Kenaikan Tegangan di Bawah Jalan Lama .....	77
Gambar 8-2	Penggalian Tanah Lunak di Sekitar Jalan Lama .....	78
Gambar 9-1	Proses Pengambilan Keputusan.....	80
Gambar 9-2	Perbandingan Berbagai Pilihan yang Digambarkan secara Grafis.....	86
Gambar 13-1	Contoh Tata Letak Instrumentasi .....	101
Gambar 13-2	Frekuensi Pembacaan Instrumen.....	103
Gambar B-1	Hubungan antara Kuat Geser Tak Terdrainase dan Indeks Konsistensi .....	B6
Gambar B-2	Hubungan antara Pemampatan Primer dan Angka Pori sebagai suatu Fungsi Batas Cair.....	B8
Gambar B-3	Hubungan antara Indeks Pengembangan dan Angka Pori sebagai Fungsi dari Batas Cair .....	B10
Gambar B-4	Hubungan Antara Permeabilitas dan Angka Pori Sebagai Fungsi dari Indeks Plastisitas dan Kadar Lempung .....	B13
Gambar B-5	Hubungan Antara Koefisien Konsolidasi dan Batas Cair ...	B14
Gambar G-1	Penanda Penurunan Permukaan .....	G5
Gambar G-2	Pelat Penurunan.....	G6
Gambar G-3	Ekstensometer Batang .....	G7
Gambar G-4	Ekstensometer Magnetik .....	G8
Gambar G-5	Datum Dalam & Pisometer Pipa Ukur Tegak .....	G9
Gambar G-6	Pisometer Pnumatik.....	G10
Gambar G-7	Indikator Gelincir .....	G11

Gambar G-8 Inklinometer .....	G12
-------------------------------	-----

Tabel:

Tabel 3-1 Keuntungan dari Solusi Pekerjaan Tanah yang Umum.....	11
Tabel 3-2 Batasan Umum dari Penggantian Total dan Sebagian.....	14
Tabel 3-3 Berat Isi dari Material Ringan .....	25
Tabel 5-1 Nilai Kisaran yang Realistis dari Tanah Lunak.....	48
Tabel 5-2 Penilaian Keandalan Data.....	48
Tabel 5-3 Parameter Desain yang Dibutuhkan .....	49
Tabel 5-4 Nilai Desain Sementara untuk Tanah Lunak.....	50
Tabel 5-5 Parameter Desain untuk Material Timbunan.....	51
Tabel 5-6 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas .....	52
Tabel 5-7 Faktor Keamanan untuk Analisis Stabilitas.....	54
Tabel 5-8 Batas-batas Penurunan untuk Timbunan pada Umumnya.....	54
Tabel 5-9 Faktor Percepatan Gempa.....	56
Tabel 6-1 Faktor Pembagi untuk Kerusakan pada Instalasi Geotekstil ....	70
Tabel 9-1 Contoh Lembar Tujuan Desain .....	81
Tabel 9-2 Faktor-faktor dan Pembobotan untuk Proses Pengambilan Keputusan.....	82
Tabel 9-3 Contoh Terpisah Keputusan Penolakan Awal.....	83
Tabel 9-4 Contoh Mengidentifikasi Biaya dari Dua Pilihan .....	84
Tabel 13-1 Kelas Instrumentasi untuk Timbunan Jalan.....	100

# 1

## Pendahuluan Panduan Geoteknik 4

### 1.1

#### BATASAN DARI PANDUAN

Panduan Geoteknik ini memberikan informasi dan petunjuk dalam desain dan pelaksanaan konstruksi jalan di atas tanah lunak. Panduan ini mengidentifikasi berbagai solusi yang mungkin untuk berbagai kondisi yang berbeda, serta mengemukakan secara umum kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Karenanya, Panduan ini memberikan metodologi untuk memilih desain yang paling cocok, dan menjelaskan bagaimana caranya Ahli Geoteknik yang Ditunjuk mengembangkan dan mencatat proses pengambilan keputusannya.

Petunjuk yang diberikan pada Panduan ini juga harus digunakan untuk timbunan oprit jembatan.

Panduan ini tidak membahas masalah yang menyangkut struktur, kecuali beberapa aspek dari interaksi tanah-struktur (*soil-structure interaction*), atau masalah perkerasan jalan pada tanah lunak. Meskipun demikian, beberapa petunjuk yang diberikan pada Panduan ini dan seri lainnya mungkin akan dapat membantu untuk maksud tersebut.

### 1.2

#### STRUKTUR MANAJEMEN UNTUK PEKERJAAN GEOTEKNIK

Panduan ini mensyaratkan bahwa untuk setiap proyek jalan seorang Ahli, yang dalam Panduan ini disebut sebagai Ahli Geoteknik yang Ditunjuk, akan ditunjuk oleh Ketua Tim untuk bertanggung jawab terhadap pekerjaan geoteknik seperti dijelaskan dalam Pengantar.

Pada Panduan Geoteknik ini istilah Ketua Tim yang dimaksud adalah seorang yang bertanggung jawab secara langsung terhadap desain dan pelaksanaan proyek dan merupakan atasan langsung dari Ahli Geoteknik yang Ditunjuk, yang kepadanya dia harus memberikan laporan.

Pada tahap Studi Kelayakan dari sebuah proyek, sebuah penilaian geoteknik awal harus dilakukan untuk mengidentifikasi apakah pertimbangan geoteknik berpengaruh terhadap rencana trase/rute dan pemilihan alinyemen jalan. Oleh

karena itu, jika memungkinkan maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut harus ditunjuk untuk tahap studi kelayakan.

Seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk dibutuhkan untuk tahapan pekerjaan penyelidikan, desain dan pengadaan (*procurement*). Bila memungkinkan, pekerjaan pelaksanaan yang memerlukan adanya kegiatan pemantauan, uji-coba (*trials*) atau desain yang memerlukan informasi lebih lanjut, maka seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus ditunjuk pada setiap tahap pelaksanaan, dan tidak perlu dipekerjakan penuh selama waktu pelaksanaan proyek.

Panduan ini juga mengemukakan bagaimana Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut harus menyimpan catatan serta menandatangani semua aktivitas dari setiap tahapan pekerjaan.

Latar belakang dan pengalaman dari Ahli Geoteknik yang Ditunjuk akan bervariasi bergantung pada ukuran dan kompleksitas dari proyek<sup>1</sup>. Untuk Jalan Kabupaten, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memiliki latar belakang keteknikan umum dan cukup mengenal daerah yang bersangkutan. Untuk skala yang lebih besar, umumnya akan diperlukan seorang spesialis.

Untuk proyek besar seperti Jalan Nasional dimana tanah lunak menjadi masalah, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memiliki latar belakang dan pengalaman yang luas dalam bidang geoteknik. Sebagai tambahan ia dapat saja dibantu oleh seorang Spesialis Geoteknik, yang walaupun dibantu, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk ini tetap harus bertanggung jawab penuh terhadap Skema Mutu (*Quality Scheme*) seperti yang dijelaskan pada Panduan.

Seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus:

- merumuskan tujuan yang ingin dicapai dan disetujui bersama Ketua Tim,
- melakukan studi meja,
- mendesain penyelidikan lapangan termasuk jenis pengujian yang diperlukan,
- memilih laboratorium yang akan melakukan pengujian,
- memberi arahan dan mengawasi proses penyelidikan,
- memeriksa dan menyetujui laporan pengujian lapangan dan laboratorium,
- menetapkan parameter desain— membuat desain,
- memberi rekomendasi solusi geoteknik,
- menyiapkan dan membuat Laporan Desain Geoteknik,
- melengkapi dan menandatangani semua ceklis,

---

<sup>1</sup> Sejumlah Asosiasi Profesi di Indonesia telah memiliki sistem sertifikasi dan skema yang dapat digunakan dalam menentukan kualifikasi yang sesuai untuk proyek-proyek tertentu..

Seorang Perakayasa Geoteknik yang Ditunjuk juga harus:

- melaporkan kepada Ketua Tim,
- menjalin hubungan dengan ahli struktur dan ahli jalan raya,
- bertanggung jawab terhadap kualitas informasi dan desain geoteknik.

Jika Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut diganti maka ia harus membuat rangkuman dokumen Serah Terima yang memuat hasil apa saja yang telah dicapai, dengan menggunakan Ceklis pada Lampiran A, Kepala Proyek bertanggung jawab untuk menjamin bahwa proses serah terima ini telah dilaksanakan.

## 1.3

### **PENDEKATAN TERHADAP DESAIN PEKERJAAN GEOTEKNIK**

#### **Tanggung jawab dari Ahli Geoteknik yang Ditunjuk**

Panduan ini mengemukakan prosedur untuk melakukan pekerjaan geoteknik pada jalan di atas tanah lunak yang memerlukan timbunan.

Prosedur dan solusi dikemukakan dalam bentuk yang bersifat memberikan petunjuk/ketentuan.

**Jika Ahli Geoteknik yang Ditunjuk bermaksud menyimpang dari prosedur, berdasarkan atas pengalamannya yang luas dan mempunyai pendekatan lain yang lebih baik dan lebih tepat untuk digunakan pada proyek yang bersangkutan, hal ini dapat diterima. Walaupun demikian setiap penyimpangan dari Panduan harus didokumentasikan secara jelas dan alasan penyimpangannya harus dikemukakan dalam laporan Ahli Geoteknik yang Ditunjuk yang relevan.**

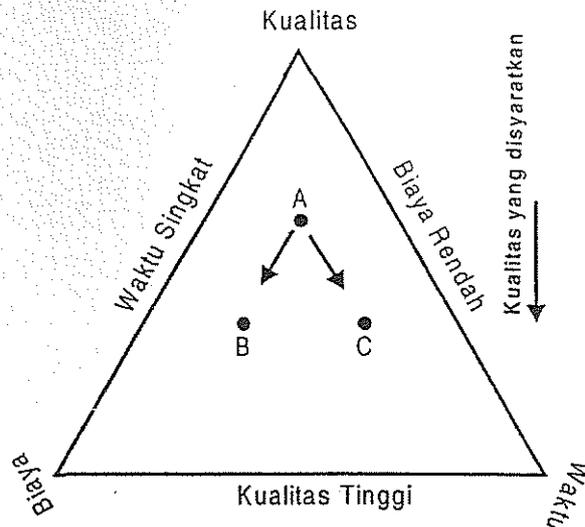
#### **Struktur dari Pendekatan Desain**

Pendekatan yang diadopsi dalam Panduan ini adalah sama dengan yang harus diadopsi oleh semua pekerjaan yang berhubungan dengan kegeoteknikan, yaitu:

- identifikasi masalah,
- mengumpulkan semua informasi yang dibutuhkan,
- memilih solusi-solusi yang memungkinkan,
- menganalisis solusi,
- menilai kembali biaya dan pengaruh pelaksanaan,
- mengambil keputusan atas solusi yang optimal,
- melakukan uji-coba di lapangan.

## Keterbatasan Desain

Tiga unsur yang harus dipertimbangkan dalam setiap proses desain adalah Biaya, Mutu dan Waktu. Unsur-unsur ini akan saling terkait dan dapat digambarkan dalam sebuah segitiga Kualitas Waktu Biaya, seperti ditunjukkan pada Gambar 1-1.



Gambar 1-1 Segitiga Kualitas Waktu Biaya

Jika proyek, sebagai contoh, telah menetapkan waktu pelaksanaan dan pembiayaannya, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk akan mendapatkan dirinya pada posisi A pada Gambar 1-1. Kualitas telah diputuskan. Bila pekerjaan geoteknik tidak dapat dilakukan menurut taraf standar yang diperlukan dalam batasan seperti ini, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memodifikasi baik waktu maupun biayanya, ataupun kombinasi dari keduanya. Sebagai contoh, ia dapat pindah ke posisi B pada gambar, yang akan menaikkan kualitas kepada standar minimum yang disyaratkan, tetapi akan menaikkan biaya yang akan dikeluarkan. Alternatifnya, ia dapat pindah ke posisi C, sekali lagi untuk memenuhi standar minimum kualitas, tetapi pada kasus ini pilihan tersebut akan menambah waktu yang dibutuhkan (seperti pada contoh konstruksi bertahap). Titik lain antara B dan C akan memenuhi tujuan kualitas dengan sebuah kombinasi dari menambah waktu dan menaikkan biaya.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mengidentifikasi keterbatasan yang ada dan memberitahukan kepada Kepala Proyek terhadap konsekuensi yang harus dihadapi. Hal ini harus dikemukakan dalam laporan yang dibuat oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut.

### Contoh

Sebuah jalan tol dibuat melintasi tanah lunak sepanjang 9 km. Ahli Geoteknik telah mengidentifikasi perlunya suatu perbaikan tanah tertentu yang harus dilakukan.

Tetapi Pemilik Proyek tidak dapat menerima biaya yang akan dikeluarkan dan memutuskan untuk mengatasi setiap permasalahan yang muncul kemudian dengan "pemeliharaan rutin. Tidak ada analisis terhadap biaya-keuntungan yang dilakukan.

Dua belas tahun kemudian elevasi perkerasan hanya tinggal 20cm di atas muka banjir tahunan dan pekerjaan rekonstruksi yang besar segera diperlukan.

Apakah dengan demikian Pemilik Proyek dapat dikatakan telah mendapatkan keuntungan dari uang yang dikeluarkannya?

## 1.4

### PERMASALAHAN

Permasalahan yang harus dipecahkan sebenarnya terbatas, walaupun demikian pemecahannya dapat saja lebih kompleks. Sebenarnya hanya ada dua permasalahan yang harus dihadapi oleh seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk, yaitu:

- timbunan tersebut harus stabil sepanjang umur rencananya, dan
- penurunan yang terjadi pada konstruksi jalan masih dapat diterima
- Prosedur untuk mengidentifikasi permasalahan spesifik yang dihadapi, dikemukakan dalam Bab 9: Proses Pengambilan Keputusan.

## 1.5

### SOLUSI ATAU PEMECAHAN MASALAH

### 1.5.1

#### Pendahuluan

Seorang Perakayasa Geoteknik yang Ditunjuk harus menyadari bahwa solusi terhadap permasalahan geoteknik dapat ditemukan di luar keahlian atau kewenangannya. Jika permasalahan yang dihadapi cukup besar, maka ia harus memberitahukan kepada Kepala Proyek bahwa mungkin terdapat beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk menghilangkan permasalahan geoteknik tersebut daripada harus menghadapinya, sebagai contoh:

- memindahkan jalan,
- menurunkan alinyemen vertikal,
- mengganti timbunan dengan struktur.

## 1.5.2

### Tipe Solusi Geoteknik

Solusi geoteknik dapat dibagi menjadi Solusi yang meliputi pekerjaan tanah (*earthworks*) saja, yaitu Solusi dengan Pekerjaan Tanah (*Earthworks Solutions*), dan solusi-solusi yang mengharuskan adanya perbaikan pada tanah fondasi, yaitu Solusi Perbaikan Tanah (*Ground Improvement Solutions*). Kedua kelompok ini akan dijelaskan secara terpisah pada Bab 3 dan 4, meskipun demikian kombinasi dari kedua metode tersebut dapat saja diterapkan pada kondisi-kondisi tertentu.

## Memindahkan Jalan

Rute alinyemen jalan umumnya ditentukan bukan berdasarkan pertimbangan Geoteknik. Oleh karenanya jarang seorang Ahli Geoteknik yang Ditunjuk dilibatkan dalam penentuan rute tersebut.

Meskipun demikian, pada daerah tanah sulit seperti pada daerah-daerah gambut Riau dan Kalimantan, pertimbangan geoteknik merupakan hal yang cukup penting yang harus diperhitungkan pada waktu perencanaan rute jalan.

Sebagaimana dijelaskan pada Panduan Geoteknik 1, kedalaman gambut akan bervariasi dari hanya beberapa meter saja hingga ke kedalaman 20m-an . Sebagaimana akan dibahas kemudian pada Panduan ini, untuk jalan di atas lapisan gambut yang tipis, solusinya relatif sederhana dan murah. Tetapi untuk mendapatkan suatu konstruksi timbunan yang memuaskan di atas lapisan gambut yang tebal, akan membutuhkan solusi yang sangat mahal atau konstruksi bertahap jangka panjang yang lama.

Karena lalu lintas pada jalan di atas daerah ini biasanya relatif rendah, maka akan lebih baik mempertimbangkan untuk memilih trase yang dapat memperkecil rute melintasi lapisan gambut yang tebal, walaupun dengan konsekuensi adanya pembiayaan untuk jalan yang lebih panjang.

Oleh karenanya Ahli Geoteknik yang Ditunjuk seharusnya dilibatkan dalam analisis biaya-keuntungan (*cost benefit*) proyek jalan tersebut, sebelum alinyemen akhir ditetapkan.

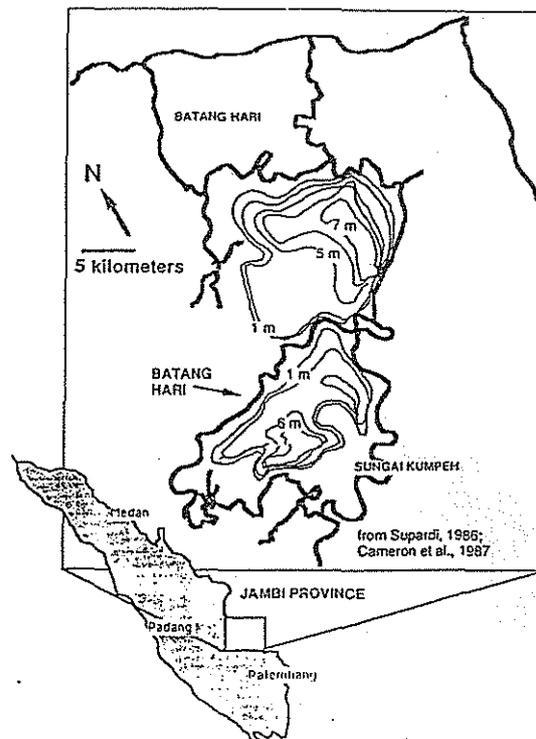


Figure 3. Location map of Jambi transect 1.1' in Sumatra, Indonesia showing isopaths of peat thickness in the area (modified after Supardi 1985, Cameron et al., 1987)

Contoh:

Kontur kedalaman gambut diambil dari suatu daerah di Jambi ini menunjukkan adanya kemungkinan dari rute menjauhi areal gambut yang dalam, dengan konsekuensi adanya tambahan biaya karena penambahan panjang jalan. Hanya dengan melakukan analisis biaya-keuntungan dengan membandingkan biaya konstruksi pada gambut yang dalam, pembiayaan jangka panjang untuk perawatan, kualitas yang rendah jika tidak diambil tindakan yang semestinya dengan tambahan biaya yang dikeluarkan oleh pengguna jalan untuk melalui rute jalan yang lebih panjang, kemudian alternatif desain yang paling ekonomis dapat dinilai .

## 2

# Pertimbangan Menyeluruh dalam Desain

## 2.1

### UMUM

Dalam suatu proses desain penting untuk dipertimbangkan sejak awal bagaimana jalan baru atau jalan yang akan ditingkatkan tersebut akan dibangun, dan jenis material, peralatan dan keahlian seperti apa yang dibutuhkan. Jawaban terhadap pertanyaan-pertanyaan berikut dapat berpengaruh pada proses pengambilan keputusan untuk desain solusi tertentu.

#### **Kemungkinan pelaksanaan**

- Pernahkah solusi desain yang sedang dipertimbangkan berhasil dilaksanakan di Indonesia sebelumnya?
- Dapatkah solusi desain pemecahan tersebut dilaksanakan dengan keahlian dan material yang tersedia?
- Dapatkah mutu yang disyaratkan tercapai? Hal ini merupakan pertimbangan utama dari pilihan-pilihan yang secara teknis lebih kompleks, dimana keruntuhan sebuah elemen dari sistem dapat menghasilkan keruntuhan total dari jalan.

#### **Pemeliharaan yang dapat dipertanggungjawabkan**

Apakah ada persyaratan pemeliharaan tertentu, dan jika ada, dapatkah hal tersebut secara layak dipenuhi? Adalah relatif mudah untuk mendatangkan keahlian khusus untuk pelaksanaan konstruksi, tetapi jika hal tersebut akan disyaratkan juga dalam masa pemeliharaan, maka sepertinya hal tersebut akan tidak dapat dipenuhi dengan biaya yang layak.

#### **Pembiayaan**

Pembiayaan proyek di seluruh wilayah Indonesia sangat bervariasi dan dapat dikatakan bahwa suatu solusi yang cocok di suatu daerah mungkin tidak cocok diterapkan di daerah lain, karena adanya variasi tersebut. Sebuah kumpulan bank data telah dikembangkan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi dan dimasukkan dalam CD Panduan Geoteknik. Jika kumpulan data tersebut tidak dapat menyediakan informasi yang dibutuhkan, maka kantor Kimpraswil setempat seharusnya dapat menyediakan biaya satuan untuk seluruh material standar yang digunakan dalam konstruksi jalan.

Ketersediaan material dapat diperoleh dari bank data bahan bangunan Indonesia (yang dikembangkan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 1997), tetapi informasi dari kumpulan data ini harus diverifikasi kembali melalui evaluasi setempat dari sumber yang ada.

Pilihan terhadap sebuah solusi ada hubungannya dengan biaya dan keseimbangan antara biaya konstruksi atau modal dengan biaya pemeliharaan selama umur pelayanan jalan tersebut. Ini harus dibandingkan dengan keuntungan bagi pengguna jalan yang diperoleh dengan adanya suatu peningkatan. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada Bab 9 dari Panduan ini. Kelebihan dan kekurangan dari berbagai pilihan tersebut garis besarnya dikemukakan sebagai berikut:

Modal awal rendah – biaya perawatan tinggi

- biaya keseluruhan selama umur pelayanan (whole life cost) jalan lebih rendah,
- biaya pengguna jalan lebih tinggi,
- tingkat pelayanan yang cenderung lebih rendah,
- kelambatan lalu lintas selama masa pemeliharaan yang lebih panjang,
- anggaran pemeliharaan yang tak mencukupi dapat berakibat pada terjadinya pengurangan yang cepat terhadap nilai aset jalan.

Modal awal tinggi – biaya pemeliharaan rendah

- biaya keseluruhan selama umur pelayanan jalan lebih tinggi ,
- biaya pengguna jalan lebih rendah,
- tingkat pelayanan lebih tinggi,
- mengurangi kelambatan lalu lintas selama kegiatan pemeliharaan.

### Isu Lingkungan

Setiap dampak pelaksanaan konstruksi di luar lokasi dapat merupakan potensi untuk memunculkan isu lingkungan. Hal ini meliputi:

- gangguan pada air permukaan atau air tanah
- kerusakan pada bangunan akibat getaran atau gerakan tanah,
- material buangan,
- polusi udara dan suara.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memperhitungkan dampak-dampak ini dalam menilai solusi desain yang dipilih dan membantu Ahli Lingkungan dalam menyiapkan laporannya.

Sebuah keputusan harus diambil dalam hal apakah spesifikasi tersebut secara layak dapat dipenuhi, dan evaluasi harus dilakukan terhadap akibat dari tidak bisa dipenuhinya spesifikasi tersebut .

Jika teknik khusus dibutuhkan, spesifikasi untuk pelaksanaannya harus disiapkan. Biasanya pabrik pembuat akan memberikan spesifikasi dan metoda pelaksanaan yang tepat untuk produk-produk yang mereka hasilkan.

Masalah tertentu yang harus diperhitungkan ketika mempertimbangkan solusi desain yang disarankan dalam Bab 3 dan 4 dari Panduan ini, dijelaskan dalam bab-bab tersebut .

### **Program Pelaksanaan**

Pertimbangan harus diberikan terhadap jadwal pelaksanaan konstruksi. Perubahan kondisi tanah akibat musim akan berpengaruh terhadap metoda konstruksi dan peralatan yang digunakan. Banyak tanah lunak dijumpai di daerah yang sering banjir. Oleh karenanya penghematan biaya dan pencapaian mutu konstruksi akan dapat tercapai jika pelaksanaan konstruksi dimulai pada musim kemarau.

Meskipun demikian, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk seharusnya hanya membuat asumsi yang optimis mengenai waktu pelaksanaan kontrak jika hal ini dinyatakan dalam Catatan Data Proyek (*Project Data Record*), seperti dikemukakan dalam Panduan Geoteknik 2.

# 3

## Solusi dengan Pekerjaan Tanah

### 3.1

#### PENDAHULUAN

Lima metode solusi pekerjaan tanah yang telah diterima dan diterapkan di Indonesia adalah:

- Penggantian Material (*Replacement*),
- Berem Pratibobot (*Counterweight Berms*),
- Penambahan Beban (*Surcharging*)
- Konstruksi Bertahap (*Staged Construction*)
- Penggunaan Material Ringan (*Use of Light Material*)

Keunggulan dari masing-masing metode tersebut dicantumkan pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Keuntungan dari Solusi Pekerjaan Tanah yang Umum

Metode Solusi	Meningkatkan Stabilitas	Mengurangi Penurunan Pasca Konstruksi
Penggantian Material	✓	✓
Berem Pratibobot	✓	
Penambahan Beban		✓
Konstruksi Bertahap	✓	
Penggunaan Material Ringan	✓	✓

Deskripsi yang lebih rinci atas kelebihan dan kekurangan dari solusi-solusi tersebut dijelaskan pada bagian berikut, dan Ceklis 2 sampai 5 yang berkaitan dengan hal tersebut diberikan pada Lampiran A untuk digunakan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk.

### 3.2

#### PENGGANTIAN MATERIAL

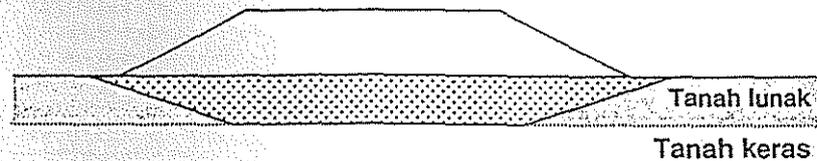
#### 3.2.1

##### Teknik

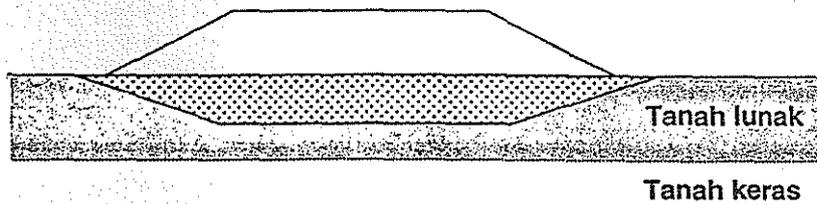
Tanah lunak yang kompresibel dibuang, baik sebagian atau seluruhnya, dan digantikan dengan material yang baik seperti ditunjukkan pada Gambar 3-1 dan Gambar 3-2. Pembuangan lapisan tanah lunak tersebut akan dapat

menyelesaikan masalah stabilitas dan penurunan, karena timbunan akan diletakkan pada lapisan yang lebih keras dan sebagian besar penurunan akan dapat dihilangkan.

Pada penggalian sebagian, lapisan tanah yang tertinggal akan mengalami konsolidasi. Bila perlu suatu beban tambahan diberikan untuk mempercepat proses penurunan, sehingga sebagian besar penurunan akan selesai selama pelaksanaan.



Gambar 3-1 Penggantian Total



Gambar 3-2 Penggantian Sebagian

### 3.2.2

## Metode dan Prosedur

### Penggalian

Penggantian dari lapisan lunak secara tradisional meliputi penggalian dengan menggunakan alat berat, pendesakan (*displacement*) dengan material timbunan dan peledakan.

Metode pendesakan ini tidak disarankan karena sangat sulit dikontrol, dan lapisan dari tanah lunak sering terjebak di bawah timbunan, yang dapat menyebabkan terjadinya beda penurunan yang besar. Peledakan membutuhkan keahlian khusus dan umumnya secara teknik bukan merupakan suatu metode yang cocok atau praktis.

Oleh karena itu, hanya metode penggantian dengan penggalian menggunakan peralatan biasa saja yang dapat dipertimbangkan. Tanah lunak digali dengan peralatan termasuk ekskavator (*excavator*) atau *dragline* sebelum ditimbun kembali dengan material pengganti.

Metode penggalian juga harus memperhatikan aspek ekonomis. Sebuah ekskavator umumnya akan dibutuhkan tetapi penggalian yang lebih dalam dan lebih luas untuk sebuah jalan raya empat lajur akan memerlukan *dragline* untuk menggali material lunak tersebut.

### **Tempat Pembuangan**

Sebuah lokasi yang dari sudut lingkungan dapat diterima untuk menimbun material buangan, harus tersedia pada jarak yang cukup dekat dari areal proyek. Hal ini mungkin akan menjadi masalah bila proyek terletak pada daerah perkotaan.

### **Penimbunan Kembali**

Penggantian dengan metode penggalian membutuhkan jumlah material yang besar. Material pengganti harus tersedia dengan radius jarak angkut yang ekonomis. Oleh karena itu metode ini akan sangat cocok diterapkan pada ruas jalan galian dan timbunan, karena material timbunan akan tersedia dari daerah galian.

Material berbutir yang lolos air (*granular free draining material*) seperti pasir, kerikil atau campuran antara pasir dan kerikil digunakan sebagai material timbunan bila penimbunan dilakukan di bawah permukaan air. Tanah kohesif dapat digunakan jika penggalian dilakukan dalam kondisi kering dan material timbunannya dapat dipadatkan lapis-perlapis seperti yang biasa disyaratkan.

Pada areal tanah lunak yang luas, khususnya pada dataran gambut, penimbunan dengan material berbutir akan sangat mahal. Oleh karena itu akan bermanfaat kiranya untuk menilai biaya dan keuntungan dengan melakukan pengeringan gambut yang cukup permeabel, sehingga memungkinkan untuk menggunakan material timbunan dengan kelas yang lebih rendah.

Pada penggalian sebagian, lapisan dengan material yang lolos air diperlukan sebagai lapis drainase (*drainage blanket*) pada dasar timbunan untuk mempercepat konsolidasi dari sisa lapisan lunak selama waktu pelaksanaan.

## **3.2.3**

### **Aplikasi**

Batasan praktis secara umum untuk penggantian material lunak ditunjukkan pada Tabel 3-2.

### **Tempat Pembuangan**

Sebuah lokasi yang dari sudut lingkungan dapat diterima untuk menimbun material buangan, harus tersedia pada jarak yang cukup dekat dari areal proyek. Hal ini mungkin akan menjadi masalah bila proyek terletak pada daerah perkotaan.

### **Penimbunan Kembali**

Penggantian dengan metode penggalian membutuhkan jumlah material yang besar. Material pengganti harus tersedia dengan radius jarak angkut yang ekonomis. Oleh karena itu metode ini akan sangat cocok diterapkan pada ruas jalan galian dan timbunan, karena material timbunan akan tersedia dari daerah galian.

Material berbutir yang lolos air (*granular free draining material*) seperti pasir, kerikil atau campuran antara pasir dan kerikil digunakan sebagai material timbunan bila penimbunan dilakukan di bawah permukaan air. Tanah kohesif dapat digunakan jika penggalian dilakukan dalam kondisi kering dan material timbunannya dapat dipadatkan lapis-perlapis seperti yang biasa disyaratkan.

Pada areal tanah lunak yang luas, khususnya pada dataran gambut, penimbunan dengan material berbutir akan sangat mahal. Oleh karena itu akan bermanfaat kiranya untuk menilai biaya dan keuntungan dengan melakukan pengeringan gambut yang cukup permeabel, sehingga memungkinkan untuk menggunakan material timbunan dengan kelas yang lebih rendah.

Pada penggalian sebagian, lapisan dengan material yang lolos air diperlukan sebagai lapis drainase (*drainage blanket*) pada dasar timbunan untuk mempercepat konsolidasi dari sisa lapisan lunak selama waktu pelaksanaan.

## **3.2.3**

### **Aplikasi**

Batasan praktis secara umum untuk penggantian material lunak ditunjukkan pada Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Batasan Umum dari Penggantian Total dan Sebagian

		Lempung	Gambut Berserat
1	Tebal total dari tanah lunak (m)	Cocok untuk penggantian seluruhnya	Cocok untuk penggantian seluruhnya
2			
3			
4		Cocok untuk penggantian sebagian (hingga kedalaman 3m)	Cocok untuk penggantian sebagian (hingga kedalaman 3m)
5			
6			
7			Tidak cocok
8			
9			
10		Tidak cocok	

Kedalaman galian untuk tanah lunak ditetapkan berdasarkan stabilitas galian. Galian yang lebih dalam membutuhkan bangunan penahan yang teliti, yang umumnya akan menjadi tidak ekonomis.

Kedalaman galian untuk gambut berserat ditentukan berdasarkan kebutuhan akan pengeringan galian. Batasan yang disarankan umumnya cukup praktis. Meskipun demikian, penggalian yang lebih dalam lagi, hingga kedalaman 8m di Malaysia (Toh dkk, 1990), telah berhasil dilaksanakan. Bila kedalaman seperti itu yang diusulkan untuk digali, maka perlu uji coba skala penuh dengan pemantauan seksama untuk membuktikan kepraktisannya.

Pilihan terhadap metode penggantian material dengan penggalian, bagaimanapun juga akan bergantung pada kondisi-kondisi berikut:

- Pada daerah timbunan tinggi dimana stabilitas merupakan masalah yang utama, metode penggantian material akan merupakan suatu solusi terbaik. Untuk timbunan oprit jembatan, tinggi timbunan akan berkisar antara 5 hingga 10 m. Pada daerah timbunan jalan, khususnya pada medan bergelombang atau berbukit dimana tanah lunak yang dangkal dijumpai, maka timbunan mencapai tinggi 16 m sering dijumpai.
- Pada daerah timbunan yang rendah, desain perkerasan membutuhkan penggalian pada *tanah dasar* dan diganti dengan material pilihan untuk mencapai nilai CBR yang disyaratkan untuk perkerasan. Meskipun demikian pada daerah tanah lunak ada ketentuan yang mensyaratkan bahwa badan jalan harus berada di atas elevasi banjir, biasanya akan menyebabkan elevasi dari perkerasan paling sedikit akan berada minimal satu meter di atas elevasi tanah asli (*original ground level*).

Bila bagian atas dari tanah lunak terdiri atas lapisan kerak yang keras, maka penggantian material akan membuang lapisan yang sangat baik ini, yang akan mendukung stabilitas timbunan dan dapat dijadikan sebagai lantai kerja peralatan konstruksi. Karena itu, bila terdapat lapisan kerak yang memadai, solusi yang diambil harus mempertimbangkan lapisan ini untuk tidak dibuang.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mempersiapkan ceklis (Lampiran A. Ceklist 2), untuk mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan mana yang relevan, dan menambahkan keterangan lain yang relevan. Ceklis ini merupakan bagian dari Laporan Desain sebagai data pendukung terhadap keputusan metode yang diambil.

### 3.2.4

#### Pertimbangan Pelaksanaan

Penyiapan metode pelaksanaan (*method statement*) tertulis biasanya merupakan tanggung jawab kontraktor. Meskipun demikian, pada kasus tertentu perencana harus menyiapkan metode pelaksanaan yang jelas dan harus diikuti. Hal ini akan dibahas lebih lanjut pada pembahasan pra kontrak atau pihak kontraktor akan mengusulkan alternatif lain pada penawarannya. Oleh karena itu, pertimbangan harus diberikan pada kedalaman berapa material harus diganti, dan peralatan yang dibutuhkan. Resiko dari penggalian yang tak selesai/sepurna seharusnya juga diperhitungkan bila diambil keputusan penggantian material total.

Perhatian khusus harus diberikan ketika melakukan penggantian material lunak, bahwa timbunan yang dibuat tidak menghambat aliran air alami (*natural drain*). Hal ini sangat penting pada areal pertanian dimana sistem irigasi yang ada akan sangat terpengaruh. Suatu penilaian dampak lingkungan harus dilakukan bila mempertimbangkan metode ini.

Permasalahan untuk menjamin tanah dapat dibuang seluruhnya, yang dilakukan di bawah permukaan air harus terdapat di dalam metode pelaksanaan tertulis.

Jika material pengganti ditimbun di bawah permukaan air dan tidak dapat dipadatkan, penggunaan suatu beban tambahan untuk memadatkannya harus dipertimbangkan.

## 3.3

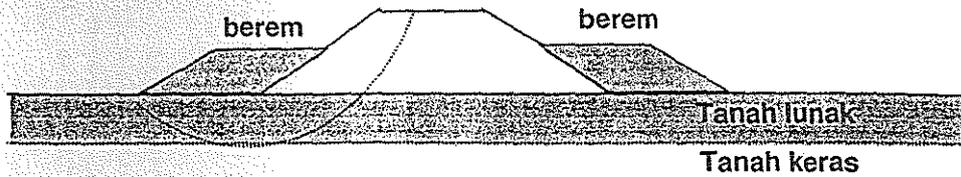
### BEREM PRATIBOBOT

#### 3.3.1

##### Teknik

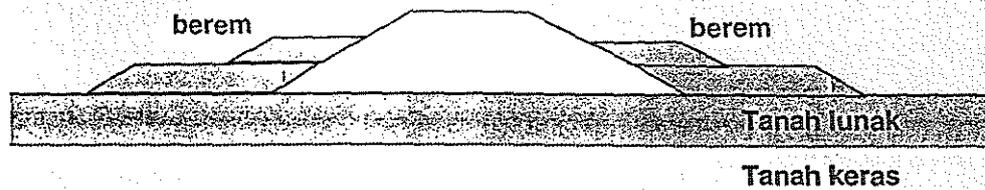
Prinsip dari metode berem pratibobot, kadang juga disebut sebagai metode berem tekan (*pressure berms*), adalah dengan menambahkan beban pada sisi timbunan untuk menaikkan perlawanan terhadap longsoran atau geseran lateral sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3-3. Bila digunakan di depan timbunan oprit jembatan, metode ini akan dapat meningkatkan stabilitas yang dapat mengurangi tekanan yang terjadi pada bangunan bawah jembatan.

Cara ini akan sangat efektif untuk menyelesaikan masalah stabilitas tetapi tidak akan menyelesaikan masalah penurunan yang terjadi. Oleh karena itu cara ini sebaiknya dikombinasikan dengan metode lainnya, misalnya dengan metode penyalir vertikal.



Gambar 3-3 Berem Pratibobot Tunggal

Tinggi dari berem harus didesain dengan faktor keamanan yang cukup terhadap setiap bentuk ketidakstabilan. Bila berem yang diperlukan lebih tinggi dari tinggi aman, maka pratibobot perlu dikombinasikan dengan metode lain seperti konstruksi bertahap atau penyalir vertikal. Alternatifnya, dua atau lebih tahapan berem dapat didesain seperti diperlihatkan pada Gambar 3-4.



Gambar 3-4 Berem Pratibobot Ganda

Solusi dengan berem pratibobot ini hanya mungkin dilaksanakan jika terdapat ruang yang cukup untuk timbunan berem. Lebar berem yang dibutuhkan akan bergantung pada kedalaman/ketebalan dari lapisan lunak.

#### Persyaratan Lahan dari Berem Pratibobot

Solusi yang secara teknis menarik dalam penyediaan lahan tambahan untuk membangun berem pratibobot, adalah dengan mendesain berem tersebut sedemikian rupa sehingga dapat digunakan sebagai lahan pertanian atau fungsi yang bermanfaat lainnya.

Isu-isu sosial dan politik umumnya akan membuat skema ini menjadi tidak praktis, tetapi Ahli Geoteknik yang ditunjuk harus betul-betul mempelajarinya sampai puas sebelum mengesampingkannya.

Bila skema seperti ini tidak diusulkan, harus disadari bahwa lahan yang direklamasi untuk membangun berem akan menjadi sangat menarik dan akan di manfaatkan secara tidak resmi.

Berem Pratibobot cocok dan praktis digunakan terutama untuk memperbaiki dan membangun kembali timbunan yang telah runtuh.

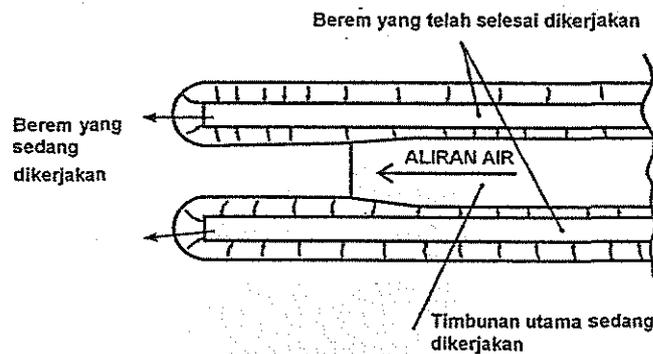
### 3.3.2

## Metode dan Prosedur

Tujuan dari konstruksi berem pratibobot adalah untuk meningkatkan stabilitas dari timbunan, tetapi berem itu sendiri harus mempunyai faktor keamanan terhadap setiap bentuk ketidakstabilan.

Pada tanah gambut akan lebih baik bila berem dan timbunan utama dilakukan secara bertahap. Berem pada kedua sisi dibangun terlebih dahulu, kemudian timbunan utamanya dinaikkan di antara kedua berem tersebut. Dengan tahapan seperti ini, berem tersebut akan memampatkan dan memperkuat gambut di luar zona timbunan utama. Jadi berem tersebut akan berlaku secara efektif untuk mengurung dan melawan gerakan lateral yang terjadi.

Dengan menggunakan metode ini akan ada resiko air menggenang pada timbunan utama sebelum timbunan tersebut mencapai tinggi yang sama dengan berem. Untuk mengatasi hal ini timbunan utama harus dibangun mengikuti bahu di belakangnya, dengan jarak sekitar dua kali lebar dasar dari timbunan utama. Permukaan dari timbunan utama juga harus dipertahankan agar mempunyai kemiringan ke arah depan ujung yang terbuka. Detil dari prosedur ini ditunjukkan pada Gambar 3-5.



Gambar 3-5 Metode Konstruksi untuk Berem pada Gambut

Pada lempung lunak, sisi berem harus dibangun secara simultan dengan timbunan utama, dihampar dan dipadatkan lapis per lapis. Kriteria untuk penetapan spesifikasi material timbunan untuk berem adalah: berat, stabilitas dan dapat dilewati (*traffickability*), dimana ketiganya akan saling berkaitan. Meskipun demikian, syarat mutu material yang digunakan untuk berem tidak seketat seperti yang digunakan untuk timbunan utama, oleh karena itu material lokal yang tersedia dengan kualitas yang lebih rendah dari yang biasanya digunakan untuk timbunan, dapat digunakan untuk berem, asalkan dapat dipadatkan dengan baik.

### 3.3.3

## Pertimbangan Konstruksi

Pada Panduan ini tidak disyaratkan bahwa mutu timbunan yang digunakan untuk berem harus sama dengan kualitas material yang digunakan untuk timbunan utama. Meskipun demikian, bila timbunan utama dan berem dibangun secara simultan dan bahan yang digunakan berbeda, maka hal ini akan menimbulkan kesulitan dalam kontrol mutu di lapangan. Bila Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tidak puas dan pengendalian mutu tidak bisa dijaga, maka ia harus menetapkan material timbunan dengan menggunakan bahan yang sama.

Pada daerah dimana material timbunan sangat mahal untuk didapat, maka kemungkinan akan adanya pencurian material timbunan, merupakan suatu kelemahan dari metode ini.

## 3.4

## PENAMBAHAN BEBAN

### 3.4.1

### Teknik

Penambahan beban merupakan sebuah metode untuk menghilangkan atau mengurangi penurunan jangka panjang dengan memberikan beban tambahan sementara di atas timbunan untuk mempercepat penurunan primer .

Beban yang diberikan harus cukup, sehingga penurunan yang terjadi selama pelaksanaan akan sama dengan penurunan total yang akan atau sisa penurunan lebih kecil dari penurunan pasca konstruksi yang diijinkan. Jika penurunan yang diinginkan telah dicapai, maka beban tambahan tersebut dibuang atau dipindahkan.

Efektivitas metode ini akan bergantung pada faktor-faktor berikut:

- ketebalan tanah lunak,
- permeabilitas tanah lunak,
- adanya lapisan permeabel (*drainage layers*),
- waktu pelaksanaan yang tersedia ,
- kuat geser tanah lunak.

Metode ini terutama akan efektif untuk mengurangi penurunan jangka panjang gambut berserat yang tebal/ dalam.

### 3.4.2

### Metode dan Prosedur

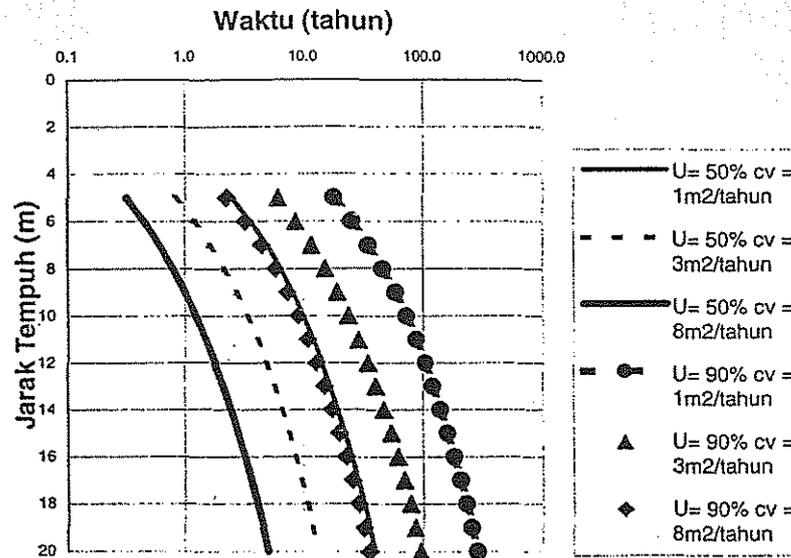
Faktor berikut ini akan mempengaruhi keputusan untuk menggunakan metode penambahan beban agar mencapai derajat penurunan yang disyaratkan:

### Ketebalan dari Lapisan Lunak Kompresibel

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suatu derajat konsolidasi tertentu akan proporsional dengan pangkat dua dari jarak tempuh pengaliran air. Lapisan tanah yang relatif tipis atau dangkal dapat dikonsolidasikan lebih cepat sehingga penurunan total yang diinginkan dapat dicapai selama masa pelaksanaan. Lapisan tanah lempung lunak yang tebal akan memerlukan waktu puluhan tahun untuk mencapai konsolidasi 90%.

Lempung lunak di Indonesia kebanyakan terletak di atas lempung lebih tua yang relatif tidak permeabel. Oleh karena itu, drainase hanya akan terjadi ke atas selama proses konsolidasi dan jarak tempuh pengaliran air akan sama dengan ketebalan dari lempung lunak tersebut.

Untuk kasus ini, dan untuk nilai kecepatan konsolidasi tertentu,  $c_v$ , waktu untuk mencapai 50 dan 90% konsolidasi ditunjukkan pada Gambar 3-6.



Gambar 3-6 Kecepatan Konsolidasi Lapisan Lempung

Jadi jelas bahwa hanya untuk lempung dengan lintasan drainase yang kurang dari 10m dan dengan nilai  $c_v$  yang lebih tinggi (lempung yang lebih permeabel), sebagian besar penurunan terjadi selama masa pelaksanaan.

### Permeabilitas dari Tanah

Waktu untuk mencapai derajat konsolidasi tertentu berbanding terbalik dengan koefisien konsolidasi,  $c_v$  dari tanah lunak permukaan; nilai  $c_v$  ini bergantung pada permeabilitas tanah.

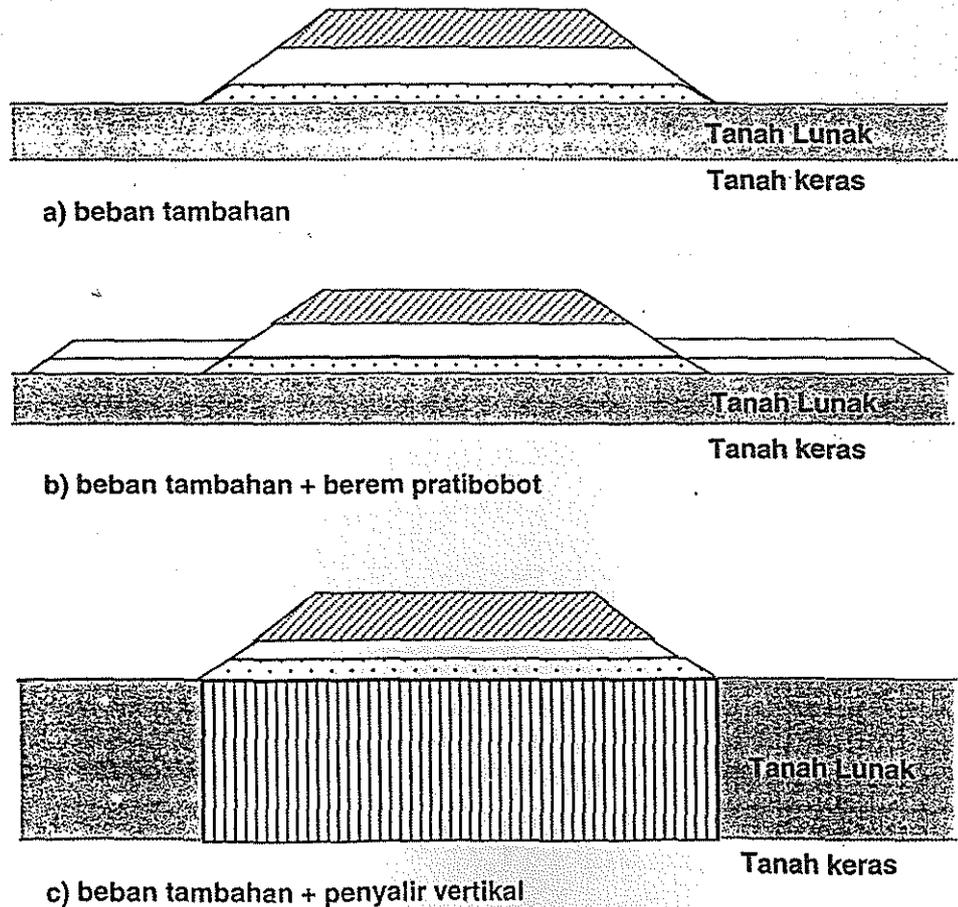
### Lapisan Drainase

Lapisan lanau bersih (*clean silt*), pasir atau kerikil dalam profil tanah akan berfungsi sebagai lapis drainase horisontal, sehingga dapat memperpendek drainase dalam tanah lunak yang selanjutnya akan mempercepat proses konsolidasi.

### Waktu Pelaksanaan

Waktu pelaksanaan mungkin merupakan keterbatasan utama dari penggunaan metode penambahan beban ini. Jika waktu yang tersedia tidak mencukupi dan pilihan untuk memperpanjang kontrak tidak diterima, maka supaya efektif, metode ini harus dikombinasikan dengan metode lainnya untuk mempercepat konsolidasi, seperti dengan penyalir vertikal.

Bagan alir untuk mengambil keputusan penggunaan gabungan beban tambahan pembebanan, konstruksi bertahap dan penyalir vertikal ditunjukkan pada Gambar 4-1.



Gambar 3-7 Beban Tambahan yang Dikombinasikan dengan Sistem Lain

### **Kuat Geser**

Kuat geser tak terdrainase dari lempung lunak dekat permukaan di Indonesia berada pada kisaran 10 hingga 20kN/m<sup>2</sup>. Kuat geser tak terdrainase yang rendah sebesar 10 kN/m<sup>2</sup> hanya dapat mendukung timbunan dengan tinggi sekitar 2 hingga 3 m. Penambahan beban ekstra akan menimbulkan permasalahan stabilitas jika beban ekstra tersebut ketinggiannya melampaui tinggi kritis yang dapat didukung oleh tanah di bawahnya. Pada kondisi ini, metode ini harus dikombinasikan dengan metode lain seperti: berem pratibobot atau konstruksi bertahap, untuk meningkatkan tinggi kritis timbunan. Beberapa contoh ditunjukkan pada Gambar 3-7.

Untuk gambut berserat, stabilitas biasanya bukan merupakan masalah dan metode penambahan beban secara teknis akan cocok untuk gambut berserat.

#### **3.4.3**

### **Aplikasi**

Karena metode penambahan beban ini akan mengurangi stabilitas pada tanah lunak, maka metode ini paling cocok untuk areal reklamasi yang luas dimana stabilitas bagian pinggir dapat diatasi secara terpisah, atau untuk jalan dimana metode berem pratibobot dapat diterima.

#### **3.4.4**

### **Pertimbangan Pelaksanaan**

Lamanya pembebanan akan ditentukan baik oleh penurunan, disipasi tekanan pori atau oleh hasil pengukuran di-lapangan terhadap kenaikan nilai kuat geser. Faktor penentu yang dipilih harus secara jelas berhubungan dengan perhitungan desain dan fasilitas untuk pembacaannya harus dimasukkan di dalam program pelaksanaan. Pelaksanaan konstruksi harus cukup fleksibel untuk memberikan variasi waktu pada proses pemindahan beban tambahan tersebut.

Bila material beban tambahan tersebut tidak akan digunakan untuk timbunan di tempat lain, penghematan biaya dapat dilakukan dengan menggunakan material dengan standar yang lebih rendah pada bagian atas dari beban tambahan tersebut yang nantinya akan dipindahkan.

Bila metode penambah beban ini yang akan diterapkan, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mempersiapkan Panduan Teknik untuk digunakan oleh Konsultan Supervisi selama waktu pelaksanaan. Panduan ini harus memuat kriteria yang akan digunakan yang mengidentifikasi saat tambahan beban tersebut dapat dipindahkan (dipotong).

Panduan tersebut harus mengidentifikasi parameter dan metode desain yang digunakan. Informasi dalam Panduan tersebut harus cukup sehingga prediksi penurunan dapat dihitung kembali dan direvisi setiap waktu berdasarkan data hasil pemantauan di lapangan.

### Penggunaan Kontrak di Muka (*Advanced Contract*)

Penerapan Kontrak Pekerjaan Tanah di Muka (*Advance Earthworks Contract*) untuk pekerjaan penambahan beban akan menghilangkan ketidakpastian dan biaya yang akan muncul jika pekerjaan tersebut dimasukkan di dalam kontrak utama. Tetapi, akan menambah kompleksitas kontrak dan memperpanjang waktu pelaksanaan total.

## 3.5 KONSTRUKSI BERTAHAP

### 3.5.1 Teknik

Berlangsungnya konsolidasi pada tanah lunak di bawah beban timbunan akan menurunkan angka pori pada tanah bawah permukaan sehingga kepadatan tanah akan naik dan kuat geser tak terdrainase (*undrained*) naik. Peningkatan kuat geser pada tanah bawah permukaan merupakan fungsi dari derajat konsolidasi, seperti ditunjukkan pada Persamaan 3.1. Oleh karena itu kecepatan penimbunan harus dikontrol supaya terjadi konsolidasi yang cukup, sehingga kuat geser yang diinginkan dapat tercapai. Metode ini harus dipertimbangkan bila tinggi desain timbunan melebihi tinggi kritis yang dapat dengan aman didukung oleh tanah di bawahnya.

$$\Delta c_u = U \cdot \alpha \cdot \Delta p \quad (3-1)$$

dengan:

$\Delta c_u$  adalah kenaikan kuat geser;

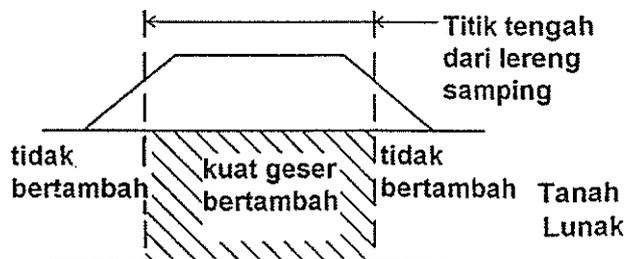
U adalah derajat konsolidasi (%);

$\alpha$  adalah sebuah faktor;

$\Delta p$  adalah kenaikan tegangan vertikal di dalam lapisan tanah.

Nilai dari  $\Delta p$  dapat diambil kira-kira sama dengan beban timbunan. Untuk lempung yang terkonsolidasi normal, faktor  $\alpha$  berkisar antara 0.2 - 0.4.

Kenaikan kuat geser penuh hanya akan terjadi tepat di bawah areal timbunan paling tinggi dan menurun ke arah kaki. Perkiraan yang ditunjukkan pada Gambar 3-8 cukup memadai untuk keperluan analisis stabilitas.



Gambar 3-8 Kenaikan Kuat Geser dari Konsolidasi

Sama dengan metode penambahan beban tambahan, metode konstruksi bertahap ini akan efektif pada kondisi tanah yang memungkinkan terjadinya disipasi secara cepat dari tekanan pori, yaitu permeabilitas tinggi, lapisan tanah lunak tipis, adanya lapisan drainase. Jika tidak, metode konstruksi bertahap ini harus dikombinasikan dengan metode panyalir vertikal untuk meningkatkan kecepatan konsolidasi.

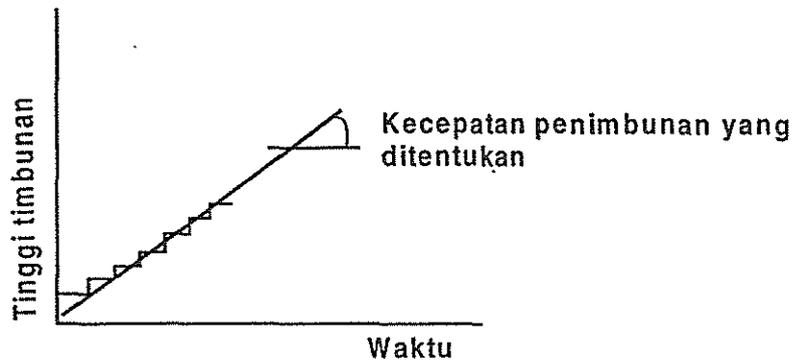
### 3.5.2

## Metode dan Prosedur

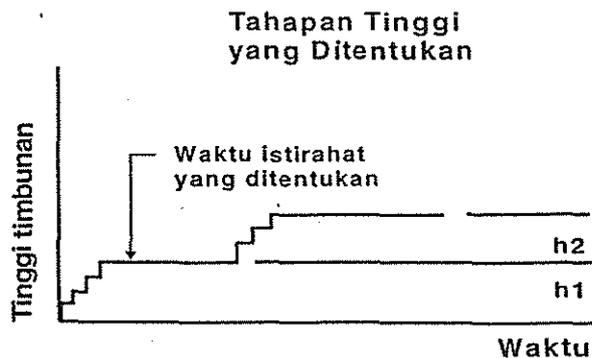
### Kecepatan Penimbunan

Pada metode konstruksi bertahap ini, kecepatan penimbunan harus dikontrol sehingga memungkinkan kenaikan kuat geser yang diinginkan dicapai selama periode penimbunan. Kontrol terhadap kecepatan konsolidasi dapat ditentukan sebagai berikut:

- Kecepatan penimbunan konstan dalam m/hari (lihat Gambar 3-9),
- waktu istirahat (*rest period*) dalam minggu atau bulan di antara kedua tahapan (lihat Gambar 3-10),
- kombinasi dari keduanya.



Gambar 3-9 Kecepatan Penimbunan yang Dikontrol



Gambar 3-10 Penimbunan yang Dikontrol Bertahap

### 3.5.3 Pertimbangan Pelaksanaan

Seperti halnya dengan metode penambahan beban, waktu istirahat antara tahapan harus dikaitkan dengan peningkatan kuat geser yang diukur. Biaya dan waktu yang diperlukan harus dimasukkan pula dalam program pelaksanaan.

## 3.6 PENGGUNAAN MATERIAL RINGAN

### 3.6.1 Teknik

Stabilitas dan besarnya penurunan pada timbunan jalan yang dibangun di atas tanah lunak, akan bergantung pada berat timbunan. Karena itu mengurangi berat timbunan akan dapat mengurangi tegangan yang terjadi pada tanah di bawah timbunan dan mengurangi penurunan yang berlebihan dan ketidakstabilan. Dengan menggunakan material yang lebih ringan dibandingkan dengan material timbunan yang biasa digunakan, maka berat timbunan akan dapat dikurangi.

### 3.6.2 Metode dan Prosedur

Material ringan berikut ini dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai material timbunan bila tersedia di dekat lokasi proyek:

- busa *Expanded Polystyrene (EPS)*,
- material buangan (debu /ampas gergaji, potongan-potongan kayu, sekam padi, ban bekas),
- beton busa (*Foamed concrete,*)
- pelet lempung kembang (*expanded clay pellet*),
- batu apung,
- pembentuk rongga (*void formers*).

Material-material tersebut harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- tahan lama,
- tahan api atau dapat dilindungi dari kebakaran,
- dapat dilewati lalu lintas konstruksi dan dapat dipasang dan dilindungi,
- stabil dan dapat dipadatkan dengan menggunakan alat pemadat konvensional.

Tabel 3-3 berikut menunjukkan berat isi dari material yang dapat digunakan untuk timbunan.

Tabel 3-3 Berat Isi dari Material Ringan

No	Material	Berat Isi (t/m <sup>3</sup> )
1	Pasir	1.8 – 2.2
2	Tanah Kohesif	1.6 – 1.9
3	Kayu (korduroi)	0.7 (a)
4	Potongan Ban Bekas	0.4 – 0.6 (b)
5	Batu Apung	1.09
6	Ampas Gergaji	1 (perkiraan)
7	Bal Gambut ( <i>Peat Bales</i> )	1 (perkiraan)
8	Pellet Lempung yang Dikembangkan	0.8 (c)
9	EPS	0.02 – 0.04
10	Pembentuk Ronga	0.5 – 1.5

- (a) 30% rongga, tak jenuh  
 (b) Edil & Bosscher, 1994  
 (c) jenuh  
 (d) jenuh (Moretti, 1989)

### **Busa Expanded Polystyrene (EPS)**

Busa EPS telah digunakan di Inggris, Jepang, Swedia, Perancis, Amerika dan Kanada untuk konstruksi timbunan jalan di atas tanah lunak. Material ini sangat ringan, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3-3.

Secara komersil material ini telah tersedia di Indonesia, tetapi harganya sangat mahal. Per meter kubik harga EPS ini sama dengan dengan harga dari satu kubik beton, oleh karena itu pembangunan timbunan jalan dengan menggunakan EPS akan sangat mahal. Tetapi material ini dapat dipertimbangkan untuk areal yang terbatas seperti pada timbunan oprit jembatan atau material timbunan belakang (*backfill*) dinding penahan tanah.

Untuk desain jembatan tahan gempa, timbunan belakang untuk tipe pangkal jembatan standar memberikan tahanan terhadap beban longitudinal jembatan yang disebabkan oleh gempa. Oleh karena itu penerapan EPS untuk timbunan pada oprit jembatan harus dikonsultasikan dengan desainer jembatan.

Timbunan dengan menggunakan EPS di atas gambut yang cukup dalam telah dicoba oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi dan Universitas Indonesia di Lokasi Uji Coba timbunan di Berengbengkel, Kalimantan. Hasil dari percobaan tersebut dapat dilihat pada CD Panduan Geoteknik.

### **3.6.3**

#### **Aplikasi**

Sebelum mempunyai pengalaman yang cukup untuk sistem ini, maka penggunaan material timbunan ringan ini tidak boleh disyaratkan untuk pembuatan jalan yang biasa.

Pada keadaan tertentu, jika penggunaan dari material ini cukup atraktif, maka uji coba timbunan harus dilakukan dan Spesifikasi dan Metode Pelaksanaan harus dibuat untuk aplikasi khusus ini.

## 4

# Solusi dengan Perbaikan Tanah

### 4.1

## PENDAHULUAN

Solusi dengan perbaikan tanah yang diadopsi dan telah diterima luas di Indonesia meliputi:

- Penyalir Vertikal,
- Fondasi Tiang,
- Matras, dengan atau tanpa tiang.

Detil sistem ini, dan pilihan untuk metode tersebut dengan keuntungan dan kelemahan masing-masing, dikemukakan pada bab berikut. Ceklis 6 sampai 8 dapat dilihat pada Lampiran A.

Metode lain dari perbaikan tanah yang belum diadopsi dan diterima secara luas di Indonesia, secara singkat dijelaskan pula pada Bab 4.5. Penggunaan salah satu dari sistem tersebut memerlukan persetujuan, spesifikasi dan metode pelaksanaan khusus.

### 4.2

## PENYALIR VERTIKAL

#### 4.2.1

### Teknik

Penyalir vertikal dipasang hingga ke sebagian atau seluruh kedalaman tanah lunak dengan jarak yang ditentukan, yang umumnya berjarak satu hingga dua meter, dengan lapisan drainase permukaan dipasang selebar timbunan penuh. Kemudian diberikan beban timbunan.

Kecepatan konsolidasi dari tanah akan bergantung pada jejak/jalur drainasinya, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan umum konsolidasi pada Persamaan 4-1:

## 4 Solusi dengan Perbaikan Tanah

### 4.1 PENDAHULUAN

Solusi dengan perbaikan tanah yang diadopsi dan telah diterima luas di Indonesia meliputi:

- Penyalir Vertikal,
- Fondasi Tiang,
- Matras, dengan atau tanpa tiang.

Detil sistem ini, dan pilihan untuk metode tersebut dengan keuntungan dan kelemahan masing-masing, dikemukakan pada bab berikut. Ceklis 6 sampai 8 dapat dilihat pada Lampiran A.

Metode lain dari perbaikan tanah yang belum diadopsi dan diterima secara luas di Indonesia, secara singkat dijelaskan pula pada Bab 4.5. Penggunaan salah satu dari sistem tersebut memerlukan persetujuan, spesifikasi dan metode pelaksanaan khusus.

### 4.2 PENYALIR VERTIKAL

#### 4.2.1 Teknik

Penyalir vertikal dipasang hingga ke sebagian atau seluruh kedalaman tanah lunak dengan jarak yang ditentukan, yang umumnya berjarak satu hingga dua meter, dengan lapisan drainase permukaan dipasang selebar timbunan penuh. Kemudian diberikan beban timbunan.

Kecepatan konsolidasi dari tanah akan bergantung pada jejak/jalur drainasinya, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan umum konsolidasi pada Persamaan 4-1:

$$t = \frac{T_{(v,h)} \cdot H^2}{C_{(v,h)}} \quad (4-1)$$

dengan:

t adalah waktu konsolidasi;

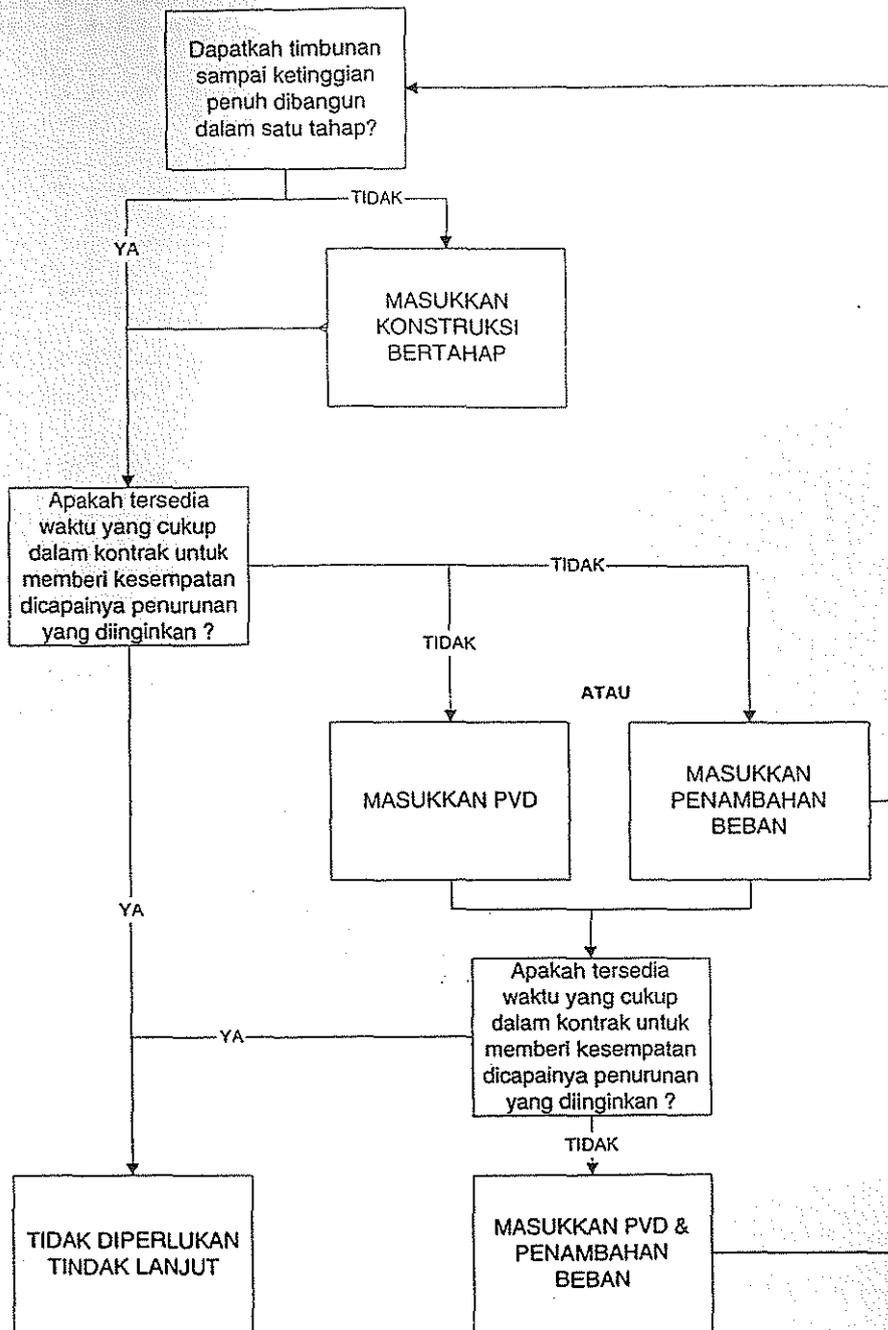
$T_{(v,h)}$  adalah faktor waktu;

H adalah panjang lintasan drainase;

$C_{(v,h)}$  adalah koefisien konsolidasi

Untuk lapisan tanah lunak yang lebih dalam, keberadaan dari penyalir vertikal akan mengurangi jalur drainasenya, dan oleh karenanya akan mempercepat proses konsolidasi.

Jika diperlukan, perbaikan tanah dengan penyalir vertikal ini dapat dikombinasikan dengan solusi lain seperti ditunjukkan pada grafik proses pengambilan keputusan pada Gambar 4-1.



Gambar 4-1 Bagan Alir Pengambilan Keputusan untuk Metode Penyair Vertikal

## 4.2.2

### Metode dan Prosedur

#### Tipe-tipe Penyalir Vertikal

*Penyalir pasir vertical dengan cara desakan penumbukan (driven displacement sand drains)* merupakan cara sederhana dan digunakan secara luas karena biayanya murah. Tetapi, cara pemasangan ini dapat mengganggu dan merusak struktur tanah yang akibatnya dapat mengurangi kuat geser tanah, dan juga menimbulkan kerusakan pada lintasan drainase horisontal alami.

*Penyalir pasir semprotan air tanpa desakan (non-displacement jetted sand drains)* dapat memperkecil gangguan di sekitar tanah. Tapi metode ini memakan waktu dalam pemasangannya dan akan menemui kesulitan apabila harus menembus lempung keras atau lapisan berbutir kasar.

*Penyalir pasir vertikal dengan pemboran mengganti (bored replacement type sand drains)* dipasang dengan pemboran sebelumnya memakai auger melayang menerus (*continuous flight augers*) atau auger yang dipasang pada batang kelly teleskopik (*telescopic kelly bars*) dan kemudian lubang bor diisi dengan pasir. Gangguan yang timbul pada pengisian pasir dengan cara ini umumnya kecil tetapi pembuangan tanah sisa pemboran dengan volume yang besar sering menjadi permasalahan.

Diameter dari lubang berkisar dari 20 hingga 40 cm dan spasinya berkisar antara 1.5 hingga 3m.

Material yang digunakan untuk penyalir pasir (*sand drain*) harus didesain sehingga a) mempunyai kemampuan penyaringan sehingga setiap lanau atau pasir halus di dalam tanah tidak akan menyumbat aliran, dan b) cukup permeabel untuk memberikan kapasitas drainase yang disyaratkan. Gradasi pasir harus dipilih sesuai untuk keperluan penyaringan dan diameter penyalir harus ditentukan untuk menghasilkan kapasitas drainase yang diperlukan. Oleh karenanya desainnya akan spesifik untuk setiap lokasi, dan spesifikasi umum untuk gradasi pasir tidak dapat diberikan dalam Panduan ini.

*Penyalir pasir pra-fabrikasi (prefabricated sand drains)* termasuk 'sumbu pasir (*sand wicks*)' yang dibuat dengan mengisikan ke dalam kaus dari material filter yang biasanya berdiameter kecil. Sumbu pasir ini biasanya dimasukkan ke dalam lubang bor yang dibuat sebelumnya di dalam tanah.

*Penyalir vertikal pra-fabrikasi (Prefabricated vertical drains, PVD)* umumnya berbentuk pita (*band-shaped*) dengan sebuah inti plastik beralur yang dibungkus dengan selubung filter yang terbuat dari kertas atau susunan plastik tak teranyam (*non woven plastic fabric*). Biasanya memiliki lebar sekitar 10 cm dan tebal 0.4 cm. Jika menggunakan tipe penyalir ini, maka karakteristik hidroliknya harus diperhatikan dengan seksama, misalnya mengenai kapasitas pengeluaran air (*well discharge capacity*) dan permeabilitas dari filter/saringannya, karakteristik mekanik seperti kuat tarik dari inti dan filternya (*tensile strength of core and filter*) dan kuat tekuk (*buckling strength*) serta

ketahanannya terhadap degradasi fisik dan biokimia dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan yang tidak ramah.

Perkembangan terakhir menggunakan penyalir dari serat alami (*natural fibre drains*), terdiri atas sebuah inti gulungan (*coir core*) dan bagian luar dari goni. Penggunaan material alami akan menghasilkan sebuah produk yang lebih murah, dan paling tidak untuk pemasangan penyalir yang dangkal, sistem penyalir tersebut akan menunjukkan hasil yang sama dengan jika menggunakan material penyalir dari bahan sintetis.

Penyalir pra-fabrikasi biasanya dipasang sampai kedalaman hingga 24m dengan menggunakan rig penetrasi statis. Untuk yang lebih dalam, dibutuhkan rig yang lebih besar, rantai kerja yang lebih kuat/luas dan penggunaan vibrator ujung (*top vibrator*) untuk mempermudah proses penetrasi. Kedalaman maksimum pemasangan yang pernah dilakukan di Indonesia berdasarkan pengalaman sampai saat ini telah mencapai 45m (Nicholls & Barry, 1983).

Keuntungan dengan penggunaan sistem penyalir tersebut terutama adalah prosedur pemasangannya yang sederhana, murah dan kecepatan pemasangan yang tinggi.

### 4.2.3

#### Prosedur Instalasi

Karena sistem penyalir pasir tidak lagi digunakan di Indonesia maka belakangan ini tak ada lagi pengalaman mengenai penggunaannya, dan tak ada panduan mengenai prosedur pemasangannya yang cocok yang dapat dikemukakan. Bila sistem penyalir pasir akan diterapkan, maka pengawasan lapangan harus dilakukan dengan tingkat teknis yang tinggi untuk menjamin bahwa prosedur yang semestinya telah dijalankan.

Sistem penyalir dengan PVD harus dipasang dengan mandrel yang ujungnya tertutup (*closed-end mandrel*) yang dimasukkan ke dalam tanah baik dengan penetrasi statis maupun pemancangan dengan vibrator. Tingkat kerusakan atau gangguan pada tanah yang ditimbulkannya bergantung pada bentuk dan ukuran dari mandrel dan sepatu yang dapat dilepaskan (*detachable shoe*) pada dasar mandrel, yang digunakan untuk mengangkut material ini ke dalam tanah. Gangguan yang timbul apabila digunakan sistem penyalir PVD akan lebih kecil dibandingkan dengan yang ditimbulkan oleh penyalir pasir konvensional dengan pendesakan.

Untuk proyek kecil, dapat digunakan satu rig yang dapat mencapai kecepatan pemasangan hingga 300 m<sup>2</sup> per hari<sup>2</sup>. Di Pelabuhan Laut Belawan, dimana penyalir tersebut dipasang sampai kedalaman antara 20 dan 45m, pemasangan dapat mencapai hasil rata-rata 2300m penyalir PVD per rig per 10 jam per hari

---

<sup>2</sup> Dalam Proyek IGMC 2 pada uji coba timbunan di Kaliwungu, pemasangan PVD sampai kedalaman 20m dengan spasi 1.2m telah dipasang dengan satu dengan kecepatan 300m<sup>2</sup> per hari.

(Nicholls, Barry & Shoji, 1984). Mesin yang dapat memasang drainase ini hingga kedalaman 60 m dengan kecepatan 1 m/detik sekarang telah tersedia di beberapa negara (Choa, 1985).

#### 4.2.4

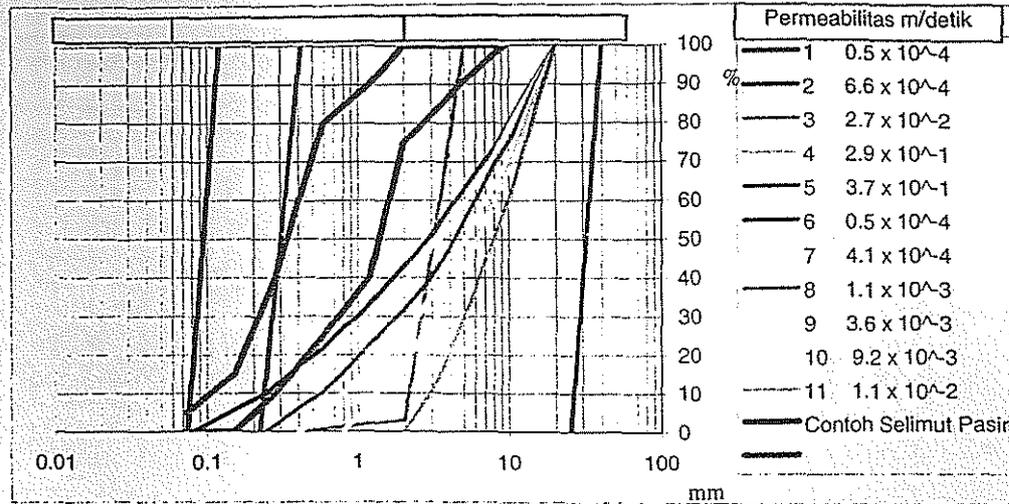
### Selimut Pasir

Selimut pasir harus dipasang pada lapisan pertama dari timbunan untuk memberi jalan kepada air yang keluar dari penyalir. Syarat-syarat dari selimut pasir ini adalah:

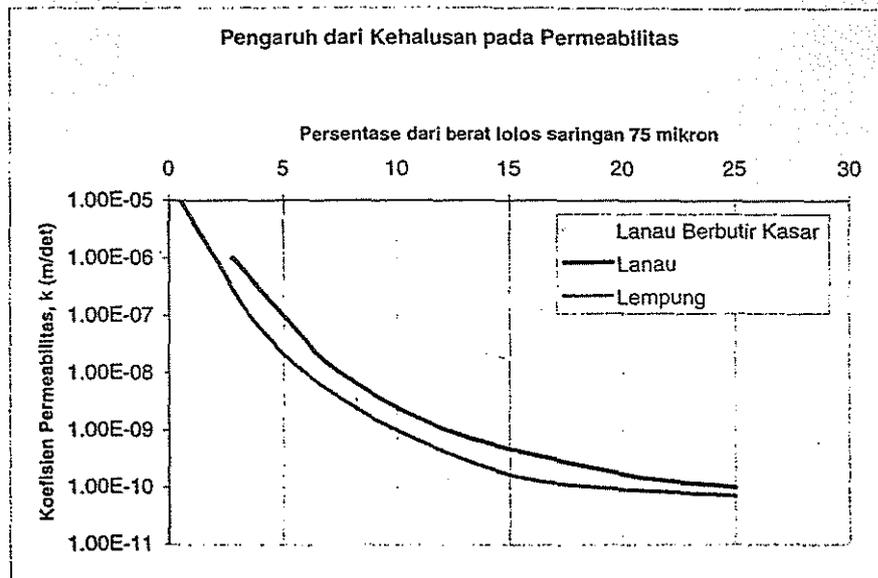
- 1) Penempatan: harus dipasang pada elevasi yang secara praktis serendah mungkin untuk memperkecil tekanan balik pada penyalir.
- 2) Ketebalan: harus cukup untuk memberikan suatu lapisan yang memadai (*reliable interface*) antara selimut pasir dengan penyalirnya, yang dalam hal ini akan bergantung pada metode pemasangan sebagaimana akan dibahas berikut ini. Tebal minimum 30cm harus dipakai.
- 3) Kemiringan melintang (*crossfall*): Lapisan pasir harus mempunyai kemiringan melintang awal dari tengah ke pinggir timbunan untuk memberikan drainase positif; kemiringan melintang awal ini dapat juga dinaikkan untuk kompensasi terjadinya beda penurunan yang terjadi antara tengah dan pinggir.

Walaupun demikian, meninggikan selimut di bagian tengah supaya lebih miring akan menambah kerumitan pelaksanaan. Oleh karena itu pemberian kemiringan tidak disarankan.

- 4) Gradasi (*grading*): untuk dapat berfungsi sebagai filter yang memadai sebagaimana dijelaskan berikut, selimut pasir perlu didesain untuk mendapatkan permeabilitas yang diinginkan yang harus dihitung sebagai berikut:
  - putuskan kapan selama proses konsolidasi selimut pasir harus mampu mengalirkan air (*discharge*). Waktu untuk 5% konsolidasi akan cukup memadai. Ini berarti sebelum sampai pada waktu/saat tersebut, selimut akan dipenuhi air dan efisiensi pengaliran air menjadi kurang dari 100%,
  - hitung kecepatan pengaliran air tersebut pada waktu konsolidasi 5% atau tingkat konsolidasi lain yang dipilih,
  - dengan menggunakan Hukum Darcy's, hitung aliran horisontal air pada selimut dengan menggunakan separuh lebar dan tebal selimut untuk mendapatkan permeabilitas yang diinginkan,
  - pilih gradasi material untuk memberikan permeabilitas yang diperlukan. Panduan untuk itu dapat diperoleh dari Gambar 4-2 dan Gambar 4-3.



Gambar 4-2 Hubungan dari Ukuran Butir dengan Permeabilitas pada Pasir (GCO, 1982)



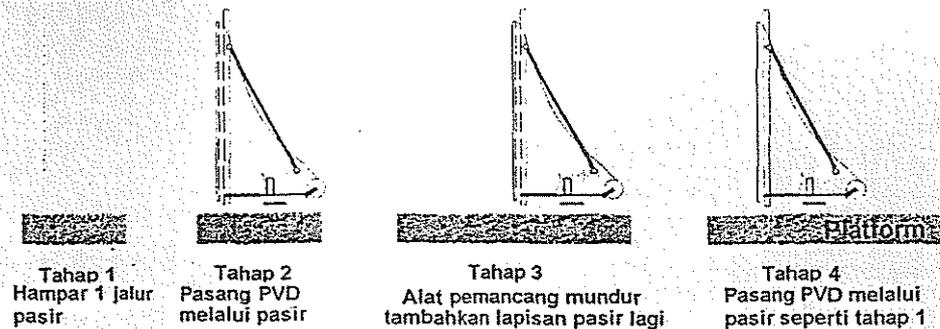
Gambar 4-3 Pengaruh dari Keahlian pada Permeabilitas (GCO, 1982)

Contoh selimut pasir pada Gambar 4.2 adalah sebuah usulan yang diambil dari sebuah kontrak proyek jalan di Indonesia belakangan ini. Terlihat bahwa permeabilitas dari gradasi yang dispesifikasikan ini hanya akan berada pada kisaran  $10^{-6}$  hingga  $10^{-7}$  m/detik, yang sepertinya tidak akan dapat memberikan drainase yang diinginkan.

Pasir yang tersedia secara lokal di banyak tempat di Indonesia, umumnya tidak cukup kasar untuk dapat memberikan permeabilitas yang diinginkan. Bahkan pasir untuk campuran beton sekalipun. Pada kasus ini ada dua pilihan yang dapat dilakukan:

Pendekatan alternatif adalah dengan memasang lantai kerja dengan ketebalan yang cukup yang dapat mendukung beban peralatan. Kemudian satu jalur selimut pasir dihampar dan PVD dapat dipasang melaluinya dan peralatan berdiri di selimut pasir tersebut. Alat pancang kemudian mundur, dan lapisan selimut pasir berikutnya dihampar dan selanjutnya proses pemasangan diulangi. Prosedur ini dapat dilihat pada Gambar 4-4.

#### Batas dari Areal Penyalir



Gambar 4-4 Prosedur Instalasi PVD menembus Selimut Pasir

Pendekatan dengan sistem ini dapat memperlambat pemasangan PVD oleh karenanya kontraktor perlu diminta untuk merencanakan pekerjaannya dengan cermat.

#### Catatan Kasus

Sebuah oprit jembatan di atas lempung lunak yang dalam, disyaratkan untuk ditimbun setelah penyalir vertikal dipasang dengan menggunakan metode konstruksi bertahap selama masa 15 bulan.

Kontraktor memasang penyalir tersebut tanpa menyerahkan metode pelaksanaan yang menjelaskan bagaimana cara memasangnya penyalir. Kontraktor tersebut tidak menghampar selimut pasir sebelum memasang penyalirnya.

Sebagai akibat dari sejumlah faktor luar, Kontraktor tersebut tidak melanjutkan tahap penimbunan berikutnya. Lokasi tersebut dibiarkan terbuka begitu saja selama enam bulan. Setelah enam bulan, penyalir yang terbuka tersebut telah mengalami dekomposisi seluruhnya akibat sinar ultra violet dari matahari. Lanau yang berasal dari kegiatan di sekitar areal tersebut telah mengkontaminasi material drainase tersebut. Pebaikan menyeluruh dibutuhkan untuk meyakinkan bahwa penyalir tersebut akan dapat berfungsi dengan baik bila penimbunan akan dimulai kembali. Akibat lebih jauh adalah tertundanya kegiatan penimbunan selanjutnya.

- gunakan batu atau kerikil pecah berukuran tunggal (*crushed single sized gravel*)
  - menggunakan pasir lokal, tetapi dengan memasang pipa drainase lateral dengan jarak yang sesuai untuk mengurangi lintasan pengaliran air.
- 5) Filter: Ini disyaratkan untuk mencegah masuknya butir tanah ke dalam selimut drainase yang dapat menyumbat dan mengurangi efisiensi pengaliran air. Filter bagian atas dan bawah harus menggunakan lapisan pasir dengan gradasi maupun ketebalan yang sesuai dengan desain filter yang biasa, ataupun dengan menggunakan filter geotekstil dengan desain yang sesuai.

Jika selimut pasir diletakkan langsung di atas tanah lunak, maka saringan bawah ini tidak diperlukan lagi.

#### Pengujian pada Pasir

Analisis gradasi sumber pasir untuk selimut pasir harus dilakukan dengan metode penyaringan basah (*wet sieving method*). Saringan kering (*dry sieving*) dapat menghasilkan perkiraan yang terlalu rendah akan banyaknya material halus, yang dapat menyebabkan perkiraan yang terlalu tinggi terhadap nilai permeabilitas, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4-3.

## 4.2.5

### Pertimbangan Pelaksanaan

Sebuah lantai kerja biasanya dibutuhkan untuk alat berat untuk memasang PVD. Lantai kerja ini dapat berpengaruh terhadap efisiensi penyalir selanjutnya, sehingga Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus :

- 1) Menyiapkan desain yang termasuk lantai kerja.
- 2) Dikonsultasikan jika kontraktor mengusulkan perubahan.

Spesifikasi yang umum di Indonesia adalah dengan menghampar selimut pasir tersebut terlebih dahulu sebelum memasang penyalir. Akan tetapi biasanya Kontraktor tidak bisa menerima bila selimut pasirnya digunakan sebagai lantai kerja, karena hal tersebut akan mudah rusak akibat peralatan dan juga tererosi oleh curahan air hujan. Selimut pasir tersebut juga dapat terkontaminasi oleh lanau yang mengalir akibat pekerjaan tanah di sekitarnya yang dapat mengakibatkan kinerja selimut pasir menjadi jelek.

Sistem yang lebih disukai adalah dengan menghampar selimut pasir dan filter lainnya, kemudian 50cm material timbunan dihampar sebagai lantai kerja. Kelemahan dari metode ini adalah:

- 1) bila lokasi tersebut terkena banjir maka selimut pasir akan mengalami segregasi atau terkontaminasi selama proses penghamparannya.
- 2) jika digunakan filter geotekstil, maka geotekstil tersebut akan tertusuk sewaktu pemasangan PVD.

Pada tahun 1979 pengembangan dari Pelabuhan menggunakan penyalir vertikal pra-fabrikasi untuk mempercepat penurunan areal yang di-reklamasi. Penyalir dipasang pada lapisan lempung lunak Holosen bagian atas dan juga pada lapisan lebih keras di atas lapisan lempung pada kedalaman 45m (Nicholls, Barry & Shoji, 1984).

Di Semarang, Jalan Lingkar Utara (JLUS) Tahap 2 Seksi 1 menggunakan penyalir vertikal dengan matras bambu untuk timbunan dengan ketinggian 2 hingga 3m di atas lempung pantai yang sangat lunak. Penyalir vertikal juga telah digunakan untuk reklamasi Pelabuhan Semarang (Rahardjo dkk, 2000).

Tri Indijono (1999) melaporkan uji-coba timbunan dengan menggunakan penyalir vertikal di Surabaya.

## 4.3

## TIANG

### 4.3.1

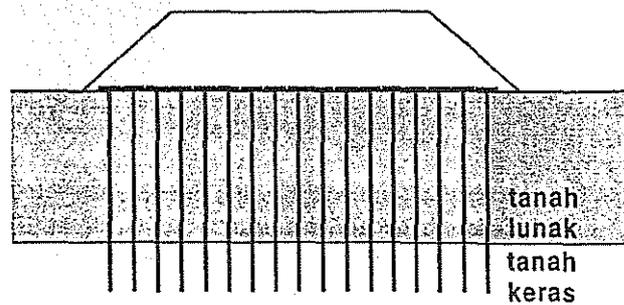
### Teknik

Tiang berfungsi untuk memindahkan beban timbunan ke lapisan yang lebih keras di bawah lapisan lunak (tiang tahanan ujung) atau berfungsi untuk mendistribusikan beban melalui kedalaman lapisan dengan memanfaatkan lekatan antara tanah dan permukaan tiang (tiang lekat). Tiang akan dapat mengurangi penurunan dan meningkatkan stabilitas timbunan.

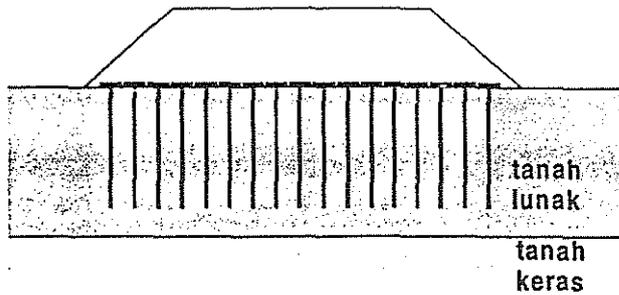
Tiga pendekatan dasar diterapkan dalam penggunaan tiang ini:

- Memikul Seluruhnya: tiang memikul seluruh beban timbunan sampai ke lapisan keras, sehingga mengurangi penurunan menjadi sangat kecil,
- Memikul Sebagian: tiang tidak didesain untuk memikul seluruh beban dari timbunan, penurunan dikurangi tetapi tidak dihilangkan,
- Memikul Setempat: tiang didesain untuk memikul hanya sebagian dari timbunan, biasanya pada areal pinggir timbunan dengan maksud untuk meningkatkan stabilitasnya .

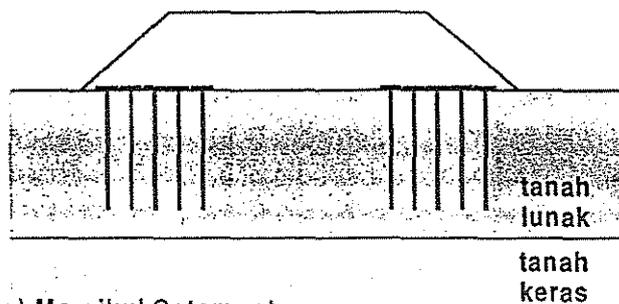
Contoh dari ketiga pendekatan tersebut, ditunjukkan pada Gambar 4-5.



a) Memikul Keseluruhan



b) Memikul Sebagian



c) Memikul Setempat

Gambar 4-5 Timbunan yang Didukung oleh Tiang

Beban ditransfer dari timbunan ke tiang melalui salah satu perantara berikut ini:

- Lantai Struktural (*Structural Slab*): pada kasus ini tiang dan lantai membentuk suatu unit struktural,
- Kepala Tiang (*Pile Caps*): material timbunan harus menapak di antara kepala tiang ,
- Matras: matras menyebarkan beban ke tiang atau kepala tiang. Matras dijelaskan pada Bab 4.4.

## 4.3.2

### Tipe-tipe Tiang

#### Tiang Kayu Cerucuk

Tiang pendek dengan menggunakan kayu atau bambu telah digunakan di Indonesia; lebih populer tiang ini disebut "cerucuk" (tiang ramping); di Malaysia

disebut “tiang bakau”. Biasanya tiang yang digunakan berukuran panjang 4 hingga 6 m dan dengan diameter 10 cm. Tiang ini juga membantu memikul lalu lintas selama pelaksanaan konstruksi. Tiang kayu dengan sambungan telah berhasil digunakan sampai kedalaman 12 m.

Penggunaan tiang kayu dengan panjang 4m di bawah timbunan pada lapisan lempung lunak yang dalam akan dapat mengurangi beda penurunan yang terjadi, meskipun besarnya sangat sulit untuk dihitung. Pada gambut berserat, daya dukung yang diberikan oleh tiang pendek yang tidak menembus lapisan yang lebih keras dibawahnya, sangat terbatas hingga hampir tidak ada gunanya.

Kepedulian akan masalah lingkungan juga harus diperhatikan bila solusi dengan menggunakan tiang kayu ini yang menjadi pilihan. Penggunaan kayu dari hutan yang tidak dapat diperbaharui harus dihindari.

### **Tiang Beton**

Untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak akan lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10 hingga 40cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang cukup besar. Tiang-tiang ini dapat disambung untuk mencapai kedalaman yang dibutuhkan, baik dengan menggunakan sambungan mekanik, maupun dengan pengelasan ataupun kombinasi dari keduanya.

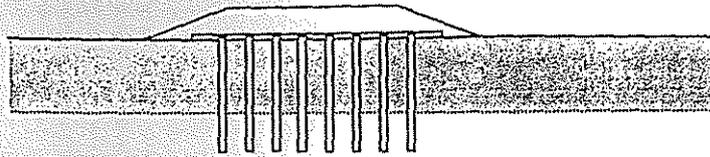
Untuk tiang dengan daya dukung yang lebih besar, tiang pipa beton (*spun piles*) telah tersedia. Tiang tipe ini akan memberikan beberapa keuntungan dibandingkan dengan tiang persegi.

## **4.3.3**

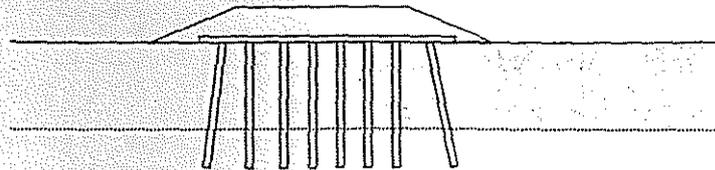
### **Metode Transfer Beban Timbunan ke Tiang**

#### **Lantai Bertiang**

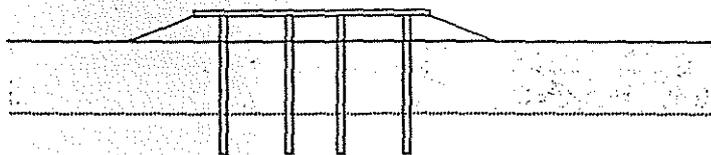
Timbunan yang dipikul oleh tiang beton dengan menggunakan lantai beton dan secara populer dinamakan timbunan bertiang (*piled embankment*) atau lantai bertiang (*piled slabs*) seperti ditunjukkan pada Gambar 4-6 a,b, dan c. Tiang yang biasa digunakan berupa beton pracetak berukuran 25 x 25 cm persegi ; tiang pipa beton dengan diameter 300mm juga telah digunakan . Lantai tinggi seperti ditunjukkan pada Gambar 4-6 di Indonesia disebut “Kaki Seribu”, biasanya digunakan untuk jalan dengan elevasi yang tinggi seperti untuk timbunan oprit jembatan.



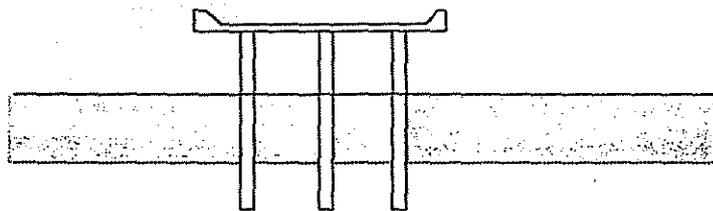
a) Lantai bertiang standar (*standard piled slab*)



b) Lantai bertiang dengan tiang ujung miring (*raking edge piles*)



c) Lantai bertiang dengan lantai untuk jalan (*slab forming carriageway*)

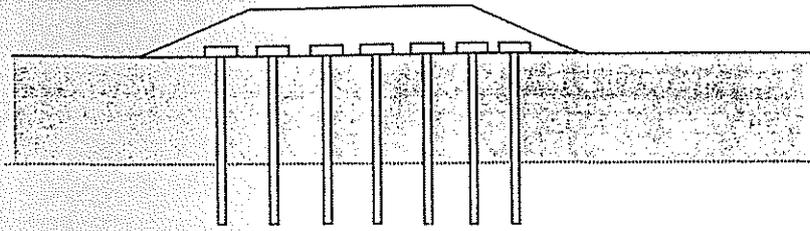


d) Lantai kaki seribu (*elevated piled slab*)

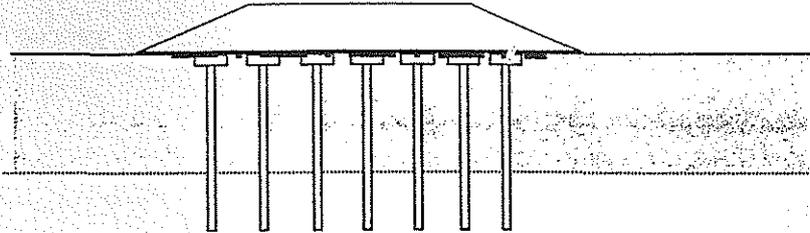
Gambar 4-6 Variasi Lantai Bertiang (*Piled Slabs*)

### Kepala Tiang (*Pile-Caps*)

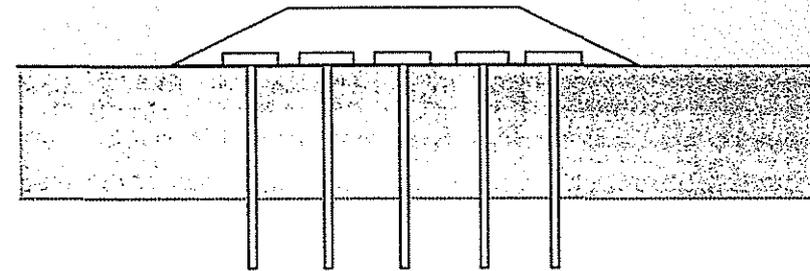
Kepala tiang yang terdiri atas, contohnya, kepala beton pracetak berukuran 0.8 x 0.8 sampai 1.5 x 1.5 m dan tiang yang bertindak sebagai satu kesatuan. Kepala tiang ini menahan hampir keseluruhan beban timbunan dengan aksi lengkung (*arching action*), dan kadang dibantu dengan memasang geotekstil di atasnya. Beberapa konfigurasi yang khas untuk model ini ditunjukkan pada Gambar 4-7.



a) Kepala tiang dengan tapak (*pile caps with arching of fill*)



b) Kepala tiang dengan tapak yang diperkuat dengan geogrid (*pile caps with arching enhanced by use of geogrid*)



c) Kepala tiang yang besar untuk mengurangi tapak yang diperlukan

Gambar 4-7 Konfigurasi Kepala Tiang

#### 4.3.4

#### Pertimbangan Pelaksanaan

Cerucuk memberikan lingkup penggunaan yang terbatas. Penggunaan cerucuk yang umum di Indonesia adalah dengan panjang 4m, tetapi sistem sambungan yang telah di fabrikasi telah digunakan secara sukses dengan tiang yang dapat mencapai kedalaman sampai 12m (Barry, Brady & Younger, 1992).

Biaya merupakan pertimbangan utama dalam penggunaan sistem konstruksi tiang yang lain.

Pengalaman dari uji coba timbunan dengan menggunakan tiang beton mikro dengan matras beton bersambung pada lapisan gambut yang dalam<sup>3</sup> menunjukkan bahwa sistem ini sangat mahal dan hanya memberikan sedikit pengaruh terhadap pengurangan penurunan.

Juga pengangkutan tiang beton yang besar akan memerlukan alat berat yang akan tidak praktis untuk diterapkan pada lapisan tanah dasar yang sangat lunak. Lantai kerja harus didesain dengan semestinya serta harus diperhitungkan dalam desain akhir.

#### 4.3.5 Contoh Penggunaan

Tipe konstruksi lantai tiang telah dibangun pada Seksi III dari Jalan Lingkar Utara Semarang dan Jalan Tol Surabaya –Gresik. Uji-coba telah dilakukan oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi pada areal gambut yang dalam di Berengbengkel, Kalimantan dengan menggunakan tiang mikro dengan matras beton.

Solusi dengan tiang yang sering digunakan adalah dengan menggunakan matras, dan contoh lebih lanjut diberikan dalam Bab 4.4.

### 4.4 MATRAS

#### 4.4.1 Teknik

Jika lapisan bagian atas dari tanah lunak tersebut sangat lunak (tak ada lapisan kerak), matras dapat digunakan untuk mendukung lalu lintas peralatan selama pelaksanaan. Matras juga akan mencegah tenggelamnya material timbunan ke dalam lapisan tanah sangat lunak dan dapat mengurangi beda penurunan yang terjadi pada timbunan.

Matras yang diperkuat dengan geotekstil, geogrid atau yang dibuat sebagai geosel akan memberikan dukungan untuk menstabilkan timbunan pada tanah lunak.

Matras dapat juga digunakan untuk mengganti atau mengurangi ukuran kepala tiang pada konstruksi.

Matras dapat dibuat dari korduroi kayu, bambu gelondongan atau lembaran (*fascine*), ataupun geosintetis (geotekstil, geogrid, geosel) dengan batu pecah yang memiliki kualitas yang baik.

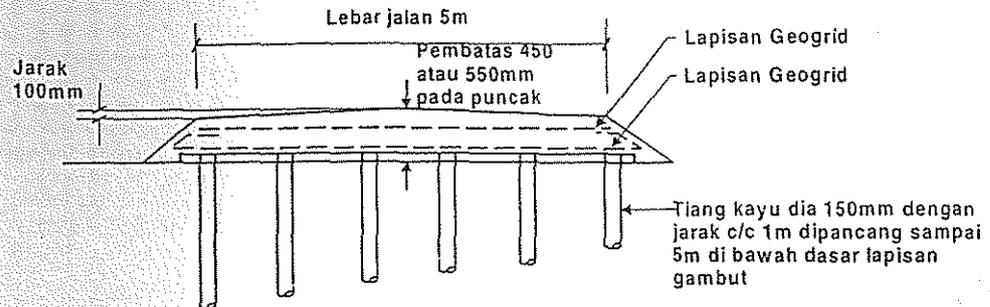
Tanggungjawab untuk menyediakan jalan masuk atau jalan kerja umumnya terletak pada Kontraktor. Meskipun demikian, untuk timbunan jalan pada tanah lunak, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memastikan bahwa pekerjaan sementara tidak akan mempengaruhi pekerjaan permanen, karenanya jalan masuk/jalan kerja harus didesain dengan baik.

Harus diperhatikan bahwa bila Kontraktor menimbun lapis pertama timbunan dengan cara menumpahkan (*end tip*) material di atas lapisan tanah yang sangat lunak, cara ini akan menimbulkan gelombang lumpur yang serius yang akan menyebabkan terjadinya beda penurunan jangka panjang yang cukup besar.

#### 4.4.2

### Contoh Penggunaan

Matras yang diperkuat dengan geogrid diatas tiang kayu telah digunakan untuk mendukung timbunan tinggi satu meter pada gambut dengan kedalaman delapan meter di Sumatra Timur seperti ditunjukkan pada Gambar 4-8.



Gambar 4-8 Konstruksi Matras Tiang

#### 4.5

### METODE PERBAIKAN TANAH LAINNYA

Metode berikut ini belum diadopsi di Indonesia, baik karena tidak cocok maupun karena metode tersebut belum teruji dengan baik ataupun karena alasan lainnya. Oleh karena itu metode ini tidak boleh dipertimbangkan untuk proyek jalan baku. Bila di pertimbangkan, maka dibutuhkan persetujuan khusus dari pihak terkait, perlu dilakukan uji coba secara detil, dan Kontraktor yang terpilih untuk melaksanakan pekerjaan tersebut, harus memiliki pengalaman yang diperlukan atau kemauan untuk memasukkan proses pembelanjaannya kedalam biaya dan waktu pelaksanaan uji coba tersebut.

#### Kolom Batu

Metode ini terdiri dari pembuatan lubang vertikal pada lapisan tanah yang kemudian diisi dengan batu pecah atau kerikil untuk membentuk kolom yang dikekang oleh tanah di sekitarnya. Kolom batu ini memiliki dua fungsi (1) berfungsi sebagai penyalir vertikal dan (2) berfungsi sebagai kolom untuk memikul sebagian beban timbunan.

Dengan metode ini, tinggi kritis dari timbunan dapat ditingkatkan karena sebagian dari beban timbunan tersebut dipikul oleh kolom. Proporsi dari beban yang dipikul oleh kolom bergantung pada modulus elastisitas dan luas penampang dari kolom dibanding dengan tanah.

Di Indonesia, perbaikan dengan kolom batu ini telah dicoba pada daerah tanah lunak pada ruas Jalan Tol Padalarang – Cileunyi, tetapi hasilnya tidak memuaskan. Teknik ini mungkin tidak cocok untuk diterapkan pada kondisi

tanah tersebut dimana tiang batu hanya mampu dipasang sampai kedalaman 18 m, sedangkan tanah lunak mencapai kedalaman sampai 30 m.

### **Metode Pemadatan Pasir**

Dengan metode ini, kolom pasir dengan diameter yang besar dibuat di dalam tanah dan dipadatkan dengan getaran/vibrasi atau tumbukan untuk meningkatkan kuat geser lapisan tanah. Seperti halnya dengan kolom batuan, sistem ini juga diharapkan dapat berfungsi sebagai penyalir vertikal sehingga dapat mempercepat proses konsolidasi. Metode ini telah dikembangkan dan digunakan di Jepang.

### **Kolom Kapur atau Semen**

Stabilisasi tanah dengan menggunakan kapur atau semen telah digunakan pada konstruksi jalan untuk memperbaiki sifat teknis tanah dan meningkatkan daya dukungnya. Teknik ini dilakukan dengan mencampur tanah dengan kapur atau semen dengan menggunakan alat pencampur seperti alat pencampur putar (*rotary mixer*) atau pencampur plant (*plant mixer*). Untuk lapisan tanah lunak yang dalam, diperlukan metode pencampuran dalam (*deep mixing method*). Swedia telah mengembangkan metode pencampuran dalam ini. Peralatannya terdiri dari sebuah pisau pengaduk putar yang dimasukkan ke dalam tanah lunak, dan kapur disuntikkan pada waktu pisau pengaduk diangkat. Dengan metode ini kolom kapur dengan diameter 50 cm dan kedalaman 10 m dapat dibuat.

Di Jepang, digunakan alat yang lebih berat dengan beragam pisau pengaduk dan dengan metode ini kolom kapur dengan kedalaman hingga 60 m dan dengan diameter hingga 2m dapat dibentuk. Pengembangan metode yang lebih murah saat ini sedang dicoba di Thailand yang nampaknya akan memberikan keuntungan yang berarti (Miki, 1999).

### **Osmosa Elektro (*Electro Osmosis*)**

Pemasangan anoda dan katoda pada lempung dengan kadar air yang tinggi dan pemberian arus listrik padanya akan menyebabkan air mengalir, yang kemudian dikeluarkan. Metode untuk mempercepat konsolidasi ini membutuhkan tenaga listrik yang besar, dan belum digunakan secara luas.

### **Konsolidasi Vakum (*Vacuum Consolidation*)**

Pemberian tekanan vakum kepada selimut pasir yang dipasang di atas penyalir vertikal akan meningkatkan aliran air dan ini akan mempercepat proses konsolidasi.

Untuk mencapai kondisi vakum, selimut tersebut harus dibungkus dengan membran. Keahlian khusus dan pengalaman dalam menggunakan teknik ini diperlukan untuk mendapatkan manfaat yang berarti dari teknik ini.

### **Stabilisasi Dangkal dan Tiang (*Shallow Stabilisation and Piles*)**

Metode ini merupakan salah satu tipe matras tiang dimana matrasnya terdiri dari tanah yang distabilisasi dengan bahan kimia atau semen. Percobaan di Indonesia menunjukkan bahwa sistem ini cukup efektif (Hiroo, 2000) tetapi tak ada perbandingan biaya untuk menunjukkan apakah ada keuntungan dari sistem ini dibanding dengan sistem-sistem yang menggunakan jenis matras lainnya.

#### **Cakar Ayam**

Sistem cakar ayam ini terdiri dari tiang pipa pendek, 2 hingga 3m, yang pada bagian atasnya dipasang lantai beton bertulang tipis, dengan tebal 10 hingga 15cm. Konsep ini dikembangkan di Indonesia, awalnya untuk menara transmisi dimana penggunaan tiang yang pendek akan memberikan tahanan terhadap gaya guling yang besar.

Sistem ini selanjutnya digunakan sebagai sistem fondasi untuk timbunan jalan, perkerasan bandar udara, jembatan dan gedung.

Untuk timbunan jalan di atas lapisan tanah lunak yang dalam sistem ini tidak akan mengurangi penurunan jangka panjang yang terjadi tetapi pengurangan terhadap perbedaan penurunan awal akan dicapai sebagai akibat dari kekakuan dari sistem lantai tiang (*slab-pile system*). Walaupun demikian, perbaikan jangka pendek yang sama juga akan didapat dari konstruksi perkerasan lantai beton biasa tanpa tiang pendek.

## 5

# Persiapan Desain

### 5.1

## INTERPRETASI GEOLOGI

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus telah melakukan inspeksi contoh tanah pada saat tahapan penyelidikan lapangan dan pengujian laboratorium. Bila ia tidak terlibat pada tahapan tersebut, maka ia harus menjamin bahwa ia telah cukup mengenal tanah tersebut supaya, dapat untuk memulai pekerjaan desain.

Satu atau lebih potongan geologi harus telah disiapkan selama penyelidikan lapangan. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tersebut harus mengkaji kembali potongan ini dan memastikan bahwa potongan tersebut telah lengkap dan telah memperhitungkan semua data, baik dari studi meja maupun dari pengujian lapangan dan laboratorium.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk kemudian harus mengkaji laporan faktual dan memastikan bahwa seluruh data tersebut konsisten satu dengan lainnya, seperti dijelaskan pada Bab 5.3. Data yang tidak konsisten harus ditolak, dan dibuat catatan untuk data yang ditolak tersebut dilengkapi dengan alasannya.

Dari interpretasi geologi dan data penyelidikan lapangan, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk kemudian harus mengidentifikasi Unit Tanah yang relevan.

Unit Tanah didefinisikan sebagai lapisan atau zona tanah yang mempunyai sifat teknik yang sama yang dibuat untuk keperluan proyek. Unit ini dapat saja berupa unit geologi, atau lapisan tertentu dalam unit geologi, atau bahkan kumpulan unit-unit geologi.

Contoh untuk menentukan Unit Tanah di suatu lokasi ditunjukkan pada Gambar 5.1. Penamaan Unit Tanah dan penomorannya akan membantu dalam memahami data dan desain serta dalam penyampaian kesimpulannya.

Profil Geologi yang Disederhanakan	Unit Tanah (Penilaian Awal)	Sifat-sifat Teknik	Unit Tanah	Nama Unit Tanah
0 – 8.5 LEMPUNG Lunak Abu-abu Tua dengan Sisa-sisa Kerang	LEMPUNG Lunak	0 – 2.0	1	Kerak
		2.0 – 5.0	2	Lempung Holosen Atas
		5.0 –	3 4	Lempung Holosen Bawah
8.5 – 9.3 PASIR Kelanauan	Pasir	Bervariasi dari 8.1 – 9.50 PASIR Halus Kelanauan	4	PasirAntara
9.3 – 14.0 LEMPUNG Kelanauan Abu-abu dan Bintik Coklat Kenyal	LEMPUNG Kenyal	Bervariasi dari 9.5 – 17.0 LEMPUNG Kelanauan Kenyal	5	Lempung Tua Atas
14.0- 20.0 LEMPUNG Kelanauan abu-abu tua kenyal kadang-kadang terdapat laminasi Lanau kepasiran halus		17.0 – 20.0 LEMPUNG Kelanauan Sangat Kenyal	6	Lempung Tua Bawah

Gambar 5-1 Contoh Prosedur untuk Menetapkan UnitTanah

## 5.2

### ZONASI LOKASI

Proyek harus sudah harus dibagi menjadi zona-zona sebelum dilakukan penyelidikan lapangan sebagaimana dijelaskan pada Panduan Geoteknik 2. Zona-zona ini mengidentifikasi variasi kondisi tanah dan bangunan yang akan dibangun di atasnya.

Setelah tahapan penyelidikan lapangan selesai, sebelum memulai desain lengkap, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mengkaji kembali zona yang telah ditetapkan sebelumnya:

- jika Unit Tanah berbeda dengan unit yang diasumsikan pada saat desain penyelidikan lapangan, maka zona tersebut perlu diubah,
- periksa apakah Ringkasan Proyek (Project Brief) tidak berubah dengan Ringkasan yang digunakan dalam penyelidikan lapangan. Jika telah berubah, harus dicatat di dalam Laporan Desain dan kemudian bila perlu zona tersebut dimodifikasi,
- jika lokasi bangunan, atau tipe bangunannya, ataupun alinyemen vertikal dan horisontalnya berubah, maka zona tersebut harus di kaji ulang dan dibuat zona yang baru.

Ceklis kegiatan Zonasi dari lokasi dapat dilihat pada Ceklis 9 dalam Lampiran A.

## 5.3

## PEMILIHAN PARAMETER GEOTEKNIK

### 5.3.1

### Pendahuluan

Sebelum menetapkan parameter dari data lapangan dan laboratorium, perlu dilakukan penilaian terhadap kualitas informasi tersebut, menolak data yang salah dan menyesatkan, menggunakan data yang diragukan dengan hati-hati, dan memakai informasi yang lebih bisa diandalkan.

Kualitas dari informasi dapat dinilai dalam dua tahapan :

- 1) Apakah data tersebut berada pada kisaran normal untuk jenis tanah tersebut?
- 2) Apakah data tersebut memiliki korelasi dengan data lain pada lokasi tersebut, dan sesuai dengan kisaran yang umumnya dapat diterima?

Dua penilaian ini akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini. Begitu penilaian dilakukan, kemudian hasil pengujian tersebut dapat dinilai berdasarkan tingkat keandalannya, seperti dijelaskan pada Bab 5.3.4.

### 5.3.2

### Kisaran Nilai yang Dapat Diterima

Kisaran nilai yang dapat diterima untuk sifat umum hasil penyelidikan lapangan diberikan pada Tabel 5-1. Kisaran untuk lempung meliputi kuat geser dari tanah Sangat Lunak, Lunak dan Sedang pada sistem klasifikasi Unified, sebagaimana dijelaskan pada Panduan Geoteknik 1.

Umumnya parameter yang dibutuhkan untuk desain adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5-3.

Tabel 5-3 Parameter Desain yang Dibutuhkan

Parameter	Disain									
	Stabilitas Timbunan	Penurunan Timbunan	Penggantian	Berem Prati Bobot	Penambahan Beban	Konstruksi Bertahap	Timbunan yang Diperkuat	Matras Bertiang	Penyalir Vertikal	
Berat Isi Total	$\gamma_b$	$\text{kN/m}^3$	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kuat Geser Tak Terdrainase	$c_u$	$\text{kN/m}^2$	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kompresibilitas	$C_c/(1+e_0)$			✓		✓	✓			✓
Koefisien Konsolidasi Sekunder	$C_\alpha$			✓		✓	✓			✓
Koefisien Konsolidasi:										
Vertikal	$C_v$									
Horizontal	$C_h$	$\text{m}^2/\text{th}$		✓		✓	✓			✓

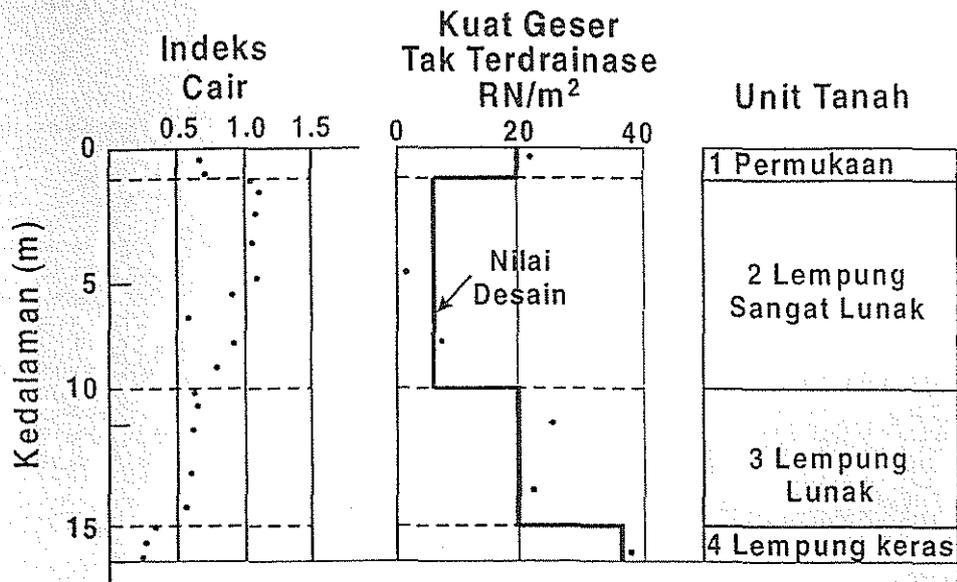
### Interpretasi Data

Prosedur umum untuk interpretasi data adalah dengan membuat korelasi kumpulan data yang terbatas tersebut dengan data lainnya yang lebih komprehensif. Oleh karenanya sebagai contoh, pengujian indeks harus dilakukan dengan interval kedalaman yang rapat untuk setiap lubang bor. Kemudian sifat-sifat yang dibutuhkan seperti kuat geser dapat dikorelasikan dengan nilai-nilai indeks, sehingga sebuah profil kuat geser yang lebih lengkap dapat diperoleh.

Bila terlihat perbedaan yang cukup besar dari sifat-sifat tanah, maka ini harus digunakan untuk mengidentifikasi Unit Tanah yang berbeda.

Pada akhirnya, semua parameter desain dipilih dengan mengambil nilai konservatif yang rendah dengan tidak mengikutkan nilai-nilai yang ekstrim.

Sebuah contoh diberikan pada Gambar 5-2 dimana indeks cair memberikan profil rinci, yang melaluinya unit tanah dianalisis setelah memeriksa tidak ada data yang bertentangan. Kemudian dipilih kuat geser tak terdrainase untuk desain, dan nilai kuat geser yang sangat rendah pada kedalaman 5m di tolak.



Gambar 5-2 Contoh Pemilihan Parameter Desain

Apabila hasil interpretasi menunjukkan adanya beberapa ketidakpastian, maka pada saat itu harus diambil sebuah keputusan apakah penyelidikan lapangan tambahan perlu dilakukan untuk menghilangkan ketidakpastian ini.

Jika dari hasil kajian data menunjukkan adanya kelemahan serius pada data yang tersedia, maka parameter desain sementara dapat ditentukan berdasarkan 4. hingga data yang memadai telah tersedia.

Tabel 5-4 Nilai Desain Sementara untuk Tanah Lunak

Parameter Tanah	Unit	Lempung	Lempung Organik	Gambut Berserat
Berat isi total, $\gamma_b$	( $\text{kN/m}^3$ )	16	13	11
Kohesi tak Terdrainase, $c_u$	0-5m	10	10	
	5-10m	15	15	
	10-20m	35	35	
$c'$	kPa	0	0	
$\phi'$		23	23	35
$C_c$				5
$C_c/(1+e_0)$		0.3	0.5	
$c_v$	$\text{m}^2/\text{thn}$	2	2	
$c_h$	$\text{m}^2/\text{thn}$	4	4	
$C_\alpha$		0.04	0.05	2

Untuk proyek besar, lakukan analisis sensitivitas (*tingkat keaktifan*) dengan menggunakan nilai parameter minimum yang didapat dari interpretasi data dan satu set data kedua di dekat nilai batas atas. Jika dari hasil perbandingan menghasilkan sebuah perbedaan pembiayaan yang besar terhadap kegiatan geoteknik, maka hal ini dapat dipakai menjadi alasan untuk melakukan penyelidikan tambahan untuk mendapatkan parameter yang lebih tepat.

## 5.4

### PARAMETER MATERIAL TIMBUNAN

Parameter material timbunan harus ditentukan sebagai berikut:

- 1) Jika kuari yang ditentukan telah diidentifikasi dan uji-uji telah dilakukan, maka parameter desain dapat ditentukan dari data tersebut. Kuari tersebut harus dinyatakan di dalam Laporan Desain.
- 2) Bila pengalaman lokal mengenai sifat dari material timbunan telah tersedia, maka nilai tersebut dapat digunakan dan sumbernya harus dinyatakan di dalam Laporan Desain.
- 3) Bila kuari belum diidentifikasi dan data dari pengalaman lokal tidak ada, maka nilai-nilai pada Tabel 5-5 dapat digunakan.

Tabel 5-5 Parameter Desain untuk Material Timbunan

Parameter			Areal Geografis	
			A	B
Berat Isi	$\gamma$	$\text{kN/m}^3$	18	20
Kuat geser tak terdrainase	$C_u$	$\text{kN/m}^2$	100	100
Parameter tegangan efektif				
Kohesi	$C'$		10	5
Friksi	$\phi'$		35	30

A Jawa bagian Utara (batuan vulkanik)

B Sumatra bagian Timur, Kalimantan, Kepulauan Indonesia Timur (batuan sedimen dan malihan)

## 5.5

### PEMBEBANAN DAN KRITERIA DESAIN

#### 5.5.1

#### Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas harus ditambahkan ketika melakukan analisis stabilitas, dengan menggunakan angka yang ditunjukkan pada Tabel 5-6<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memeriksa dengan Ketua Tim bahwa Sistem Klasifikasi Kelas Jalan yang digunakan pada proyek tersebut konsisten dengan Klasifikasi Kelas Jalan ini.

Tabel 5-6 Beban Lalu Lintas untuk Analisis Stabilitas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)
I	15
II	12
III	12

Beban lalu lintas tersebut harus diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan.

Tabel 5-6 diambil dari Panduan Gambut Pusat Litbang Prasarana Transportasi, yang dimodifikasi sesuai klasifikasi kelas jalan. Jika Ahli Geoteknik yang Ditunjuk mendapatkan Standar Indonesia yang mensyaratkan pembebanan yang berbeda, maka standar tersebut harus digunakan dan dicatat.

Beban lalu lintas tidak perlu dimasukkan dalam analisis penurunan pada tanah lempung. Untuk gambut berserat pembebanan pada Tabel 5-6 harus ditambahkan, dan diperhitungkan pada seluruh lebar permukaan timbunan.

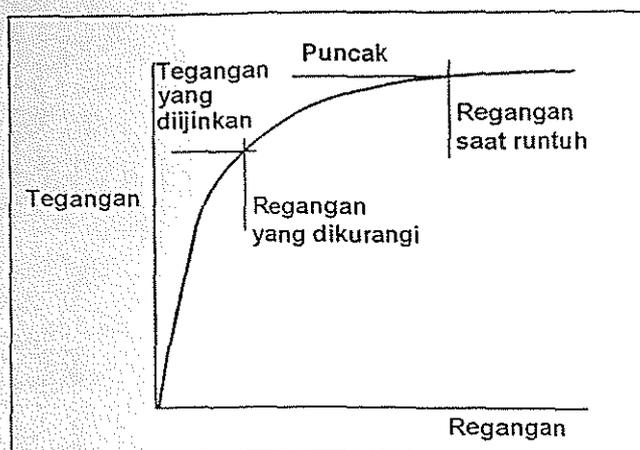
## 5.5.2

### Faktor Keamanan

Faktor keamanan harus dimasukkan dalam analisis stabilitas timbunan untuk mengurangi resiko keruntuhan sampai pada tingkatan yang dapat diterima. Waktu kritis stabilitas timbunan pada tanah lunak adalah selama dan segera setelah selesai pelaksanaan, karena proses konsolidasi tanah lunak di bawah timbunan menyebabkan kuat geser dari lapisan tanah lunak akan meningkat. Oleh karenanya, diperlukan faktor keamanan kondisi jangka pendek berdasarkan parameter kuat geser tak terdrainase.

Faktor keamanan yang dipakai harus memperhitungkan tiga unsur berikut:

- 1) derajat ketidakpastian berkaitan dengan kondisi tanah.  
Biasanya untuk menghilangkan unsur ketidakpastian ini adalah dengan memilih nilai desain parameter yang konservatif, dan pendekatan ini disarankan seperti dijelaskan pada Bab 5.3.5,
- 2) penggunaan faktor keamanan untuk membatasi tegangan yang terjadi pada tanah pada tingkatan tertentu di bawah tegangan maksimumnya, dan untuk membatasi regangan pada tingkatan yang dapat diterima, seperti ditunjukkan pada Gambar 5-3,



Gambar 5-3 Penggunaan Faktor Keamanan untuk Membatasi Regangan

Pada tanah lunak faktor ini berkisar 1.3. Pada gambut berserat hal ini tidak relevan karena regangan yang besar akan terjadi pada semua level tegangan dan oleh karenanya perlu diperhitungkan secara terpisah,

- 3) untuk mengurangi resiko, karena keruntuhan akan menimbulkan akibat yang serius.

Konsekuensi ini dapat dipertimbangkan terhadap : resiko pada nyawa manusia, dan kerugian ekonomi.

Pada timbunan jalan, resiko terhadap nyawa manusia akibat keruntuhan biasanya sangat kecil karena itu hanya kerugian secara ekonomi yang perlu dipertimbangkan.

Kerugian ekonomi akan lebih besar jika timbunan tersebut diperuntukkan sebagai oprit jembatan atau berada di dekat bangunan, gedung atau utilitas lainnya. Ada dua alasan untuk hal ini; pertama keruntuhan dari timbunan akan merusak struktur sebagai akibat dari gerakan tanah yang volumenya besar. Pada kasus jembatan biasanya pangkal jembatan yang bergerak, tiangnya terganggu atau patah, dan suatu perbaikan menyeluruh akan diperlukan. Kedua, gangguan terhadap lalu lintas akan lebih lama jika akses ke jembatan terganggu, karena biasanya menyediakan akses sementara akan lebih sulit, jika dibandingkan dengan keruntuhan yang terjadi pada jalan. Persyaratan untuk timbunan di dekat struktur dibahas dalam Bab 7.

Untuk timbunan faktor keamanan harus diambil untuk kondisi jangka pendek selama masa pelaksanaan dari faktor keamanan yang ditunjukkan pada Tabel 5-7.<sup>5</sup>

Tabel 5-7 Faktor Keamanan untuk Analisis Stabilitas

<sup>5</sup> Nilai ini berbeda dengan nilai yang terdapat pada Panduan Gambut Pusat Litbang Prasarana Transportasi.

Kelas Jalan	Faktor Keamanan
I	1.4
II	1.4
III	1.3

Faktor-faktor keamanan ini telah memperhitungkan hal-hal berikut:

- investigasi untuk jalan Kelas I dan Kelas II harus menghasilkan data dengan kualitas lebih baik, dan oleh karenanya nilai parameter data yang tidak terlalu konservatif dapat ditentukan,
- biaya yang harus dikeluarkan akibat kerusakan yang timbul akan lebih kecil untuk kelas jalan yang lebih rendah.

Bila metode berem pratibobot digunakan, faktor keamanan dari berem dapat dikurangi menjadi 1.2, kecuali bila ada struktur, bangunan atau utilitas lain di dekatnya.

### 5.5.3

## Kriteria Deformasi

### Penurunan

Penurunan timbunan harus dibatasi berdasarkan Tabel 5-8<sup>6</sup>. Penurunan yang terjadi selama pelaksanaan adalah penurunan yang terjadi sebelum perkerasan jalan dilaksanakan.

Tabel 5-8 Batas-batas Penurunan untuk Timbunan pada Umumnya (dari Panduan Gambut Pusat Litbang Prasarana Transportasi)

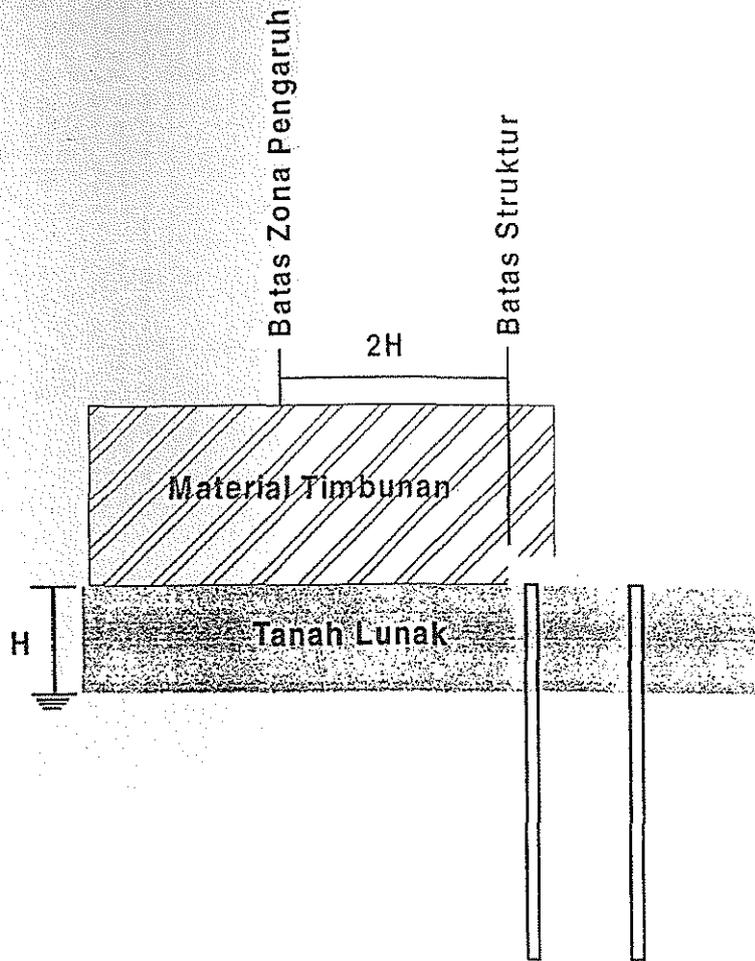
Kelas Jalan	Penurunan yang Disyaratkan selama Masa Konstruksi $s/s_{tot}$	Kecepatan Penurunan setelah Konsolidasi mm/tahun
I	>90%	<20
II	>85%	<25
III	>80%	<30
IV	>75%	<30

$s$  jumlah penurunan selama masa pelaksanaan  
 $s_{tot}$  penurunan total yang diperkirakan

### Pergerakan Lateral

Faktor keamanan minimum sesuai dengan Tabel 5-7, pergerakan lateral masih menimbulkan masalah terhadap struktur dan utilitas di dekatnya, bila timbunan dekat jembatan atau struktur harus dipertimbangkan, jaraknya kurang dari 2 kali kedalaman tanah lunak, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5-4.

<sup>6</sup> Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memeriksa dengan Ketua Tim bahwa Sistem Klasifikasi Kelas Jalan yang digunakan pada proyek tersebut konsisten dengan Klasifikasi Kelas Jalan ini

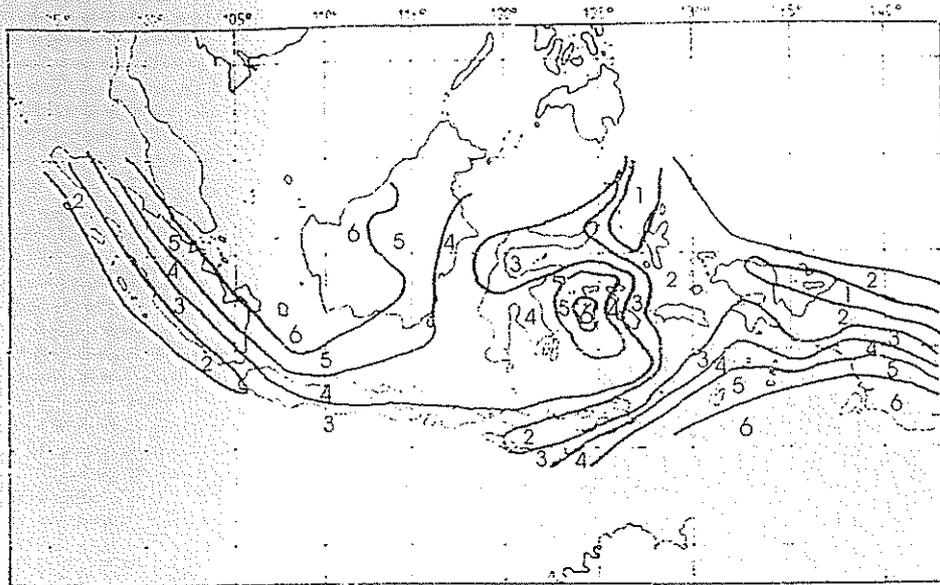


Gambar 5-4 Zona Pengaruh untuk Pergerakan Lateral

#### 5.5.4

#### Beban Gempa

Zona gempa terakhir yang digunakan dalam desain di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 5-5.



Gambar 5-5 Zona Gempa di Indonesia

Zona-zona ini ditetapkan dalam SNI-T14-1990-03<sup>7</sup> dan digunakan untuk mendesain bangunan. Percepatan diperoleh dengan menghubungkan zona tersebut dengan tipe tanah dan frekuensi dasar bangunan. Percepatan maksimum untuk tiap zona diberikan pada Tabel 5-9.

Tabel 5-9 Faktor Percepatan Gempa

Zona	Faktor Percepatan
1	0.23
2	0.21
3	0.18
4	0.15
5	0.12
6	0.07

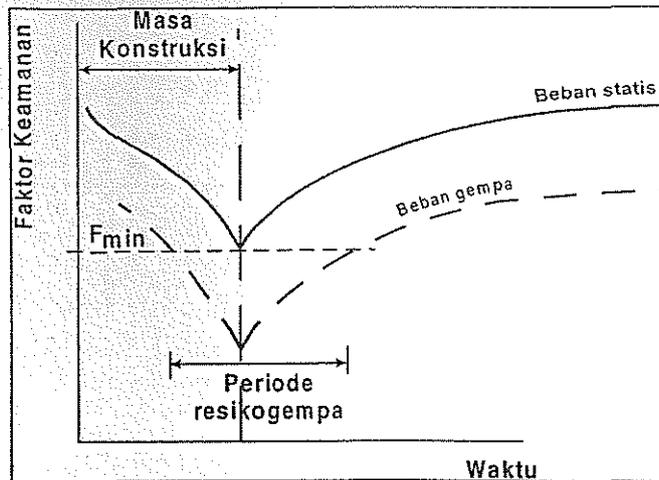
Sebuah sistem zona gempa yang telah dimodifikasi telah dikembangkan dan diharapkan dalam waktu dekat segera dipublikasikan. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus yakin bahwa dirinya telah memiliki informasi yang terbaru dan selalu mengikuti perkembangan informasi yang ada.

Efek dari beban gempa terhadap timbunan pada lapisan tanah lunak adalah:

- adanya tanah lunak akan memperbesar percepatan permukaan,
- beban siklis dari kejadian gempa akan mengurangi kuat geser tak terdrainase dari tanah lempung lunak,
- gaya-gaya yang terjadi akibat timbunan akan bertambah.

<sup>7</sup> Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Jembatan Jalan Raya: Desain Stabilitas Tahan Gempa untuk Jembatan Jalan Utama.

Karena faktor keamanan minimum dari timbunan terhadap beban statis terjadi selama pelaksanaan akan meningkat (secara skematis seperti terlihat pada Gambar 5-6), maka akan sangat tidak beralasan untuk menambahkan kondisi beban gempa secara penuh pada proses analisis desain.



Gambar 5-6 Skema Perubahan Faktor Keamanan sepanjang Umur Timbunan

Beban gempa pada desain timbunan jalan di Indonesia umumnya diabaikan. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mengkonfirmasi bahwa proyek tersebut tidak mempunyai nilai strategis yang penting yang memerlukan sesuatu resiko keruntuhan yang rendah selama gempa terjadi. Kemudian beban gempa harus diabaikan untuk timbunan tersebut yang jaraknya terhadap struktur, jembatan ataupun utilitas lainnya cukup jauh. Jika proyek tersebut mempunyai nilai strategis maka beban gempa harus dimasukkan dalam analisis untuk mencapai faktor keamanan yang sama dengan yang disyaratkan, atau suatu analisis resiko mengenai kemungkinan keruntuhan yang dapat terjadi, harus dilakukan dengan pendekatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5-6.

Timbunan untuk oprit jembatan dijelaskan dalam Bab 7, dan panduan yang diberikan pada bab tersebut juga cocok untuk digunakan pada timbunan yang dibangun di dekat bangunan dan utilitas besar lainnya.

## 6

# Solusi Desain dan Analisis

### 6.1

## PENDAHULUAN

Suatu desain geoteknik harus mempertimbangkan syarat-syarat berikut:

- stabilitas timbunan selama waktu pelaksanaan,
- stabilitas timbunan jangka panjang,
- besar dan kecepatan penurunan setelah pelaksanaan selesai .

Panduan Geoteknik ini membahas mengenai persyaratan khusus desain untuk tanah lunak. Panduan ini tidak dimaksudkan untuk mengganti buku-buku pelajaran yang sudah ada.

Analisis stabilitas dan penurunan pada berbagai kondisi yang umumnya terjadi, bisa diperoleh dari buku-buku pelajaran yang umum digunakan di Indonesia, seperti :

Bowles J E, Teknik Fondasi dan Desain (*Foundation Engineering and Design*), McGraw Hill, 1996.,

Holtz R D & Kovacs W D, Pengantar Rekayasa Geoteknik (*An Introduction to Geotechnical Engineering*), Prentice Hall Inc, New Jersey, 1981.,

Lambe T W & Whitman R V, Mekanika Tanah (*Soil Mechanics*), SI Version, Wiley, 1979.,

Smith G N, Dasar-dasar Mekanika Tanah untuk Ahli Teknik Sipil dan Pertambangan (*Elements of Soil Mechanics for Civil and Mining Engineers*), Granada, 1982.,

Suryolelono K Basah, Geosintetik Geoteknik, NAFIRI, Yogyakarta (ISBN 979-8611-22-5), 2000.,

Terzaghi K, Peck R B & Mesri G, Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa (*Soil Mechanics in Engineering Practice*), 3<sup>rd</sup> ed, Wiley, 1996.,

Tomlinson M J, Desain Fondasi dan Konstruksi (*Foundation Design and Construction*), Pitman, 1975.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus paham dengan metode desain dasar ini, dan bila menjumpai keraguan supaya mempelajari salah satu dari buku-buku tersebut.

## 6.2

## STABILITAS TIMBUNAN

Sebagai penilaian awal stabilitas timbunan dapat dihitung sebagai berikut:

- 1) hitung kuat geser tak terdrainase rata-rata sampai kedalaman lima meter ( $c_{u(0-5)}$ ) atau setebal lapisan lempung lunak bila kurang dari lima meter ,
- 2) ambil berat isi ( $\gamma_b$ ) tertinggi material timbunan ( $\text{kN/m}^3$ ),
- 3) tinggi timbunan maksimum yang aman tanpa perbaikan tanah dapat ditentukan dengan:

$$H_c = 4 \times c_{u(0-5)} / \gamma_b \quad (6.1)$$

Analisis sederhana ini tidak memperhitungkan kontribusi kuat geser dari timbunan.

Bila data yang mencukupi sudah tersedia, maka analisis stabilitas harus dilakukan dengan menggunakan metode Bishop, atau metode Janbu ataupun metode lain yang lebih tepat. Jika tak ada program komputer yang tersedia untuk analisis ini, maka perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan *spreadsheet*.

Analisis stabilitas yang dinyatakan di atas dapat digunakan pada tanah organik, inorganik dan gambut amorfos.

Elevasi air di sekitar timbunan mempunyai efek yang cukup besar pada perhitungan stabilitas, oleh karenanya hal-hal berikut ini harus diperhitungkan:

- 1) pada areal yang lahannya sering terendam banjir atau digunakan, misalnya untuk lahan perikanan atau irigasi, kondisi terburuk adalah ketika lokasi tersebut dikeringkan. Pada areal pasang surut, kondisi terburuk yang terjadi adalah ketika sedang surut pada level terendah.
- 2) Jika elevasi muka air terendah diperhitungkan dalam desain, maka zona material timbunan di antara elevasi muka air terendah dan tertinggi harus diasumsikan sebagai jenuh.
- 3) Untuk analisis tegangan efektif, kondisi turunnya elevasi muka air secara cepat harus diperhitungkan.

Pada gambut berserat, stabilitas timbunan tidak menjadi masalah, tetapi penurunan akan merupakan masalah utama yang menentukan desain timbunan tersebut.

Perhitungan penurunan terdiri dari perkiraan total penurunan yang terjadi dan kecepatan atau waktu untuk mencapai berbagai tingkat penurunan. Analisis harus dilakukan pada garis tengah dan pinggir dari bagian atas timbunan.

Untuk keperluan desain, penurunan langsung tidak perlu dihitung. Meskipun demikian, jika diperkirakan penurunan yang terjadi cukup besar, maka harus diperhitungkan karena hal tersebut akan mempengaruhi jumlah biaya untuk bahan timbunan.

Estimasi penurunan harus meliputi perhitungan penurunan primer dan sekunder. Untuk lempung lunak dan lempung organik, perhitungan dengan menggunakan teori konsolidasi dari Terzaghi sebagaimana berikut, dapat digunakan:

Penurunan primer, lempung terkonsolidasi normal:

$$S_p = \frac{HC_c}{1 + e_o} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (6-2)$$

Penurunan primer, lempung terkonsolidasi lebih:

$$S_{p, p_o + \Delta p < p_c} = \frac{HC_s \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}}{1 + e_o} \quad (6-3)$$

$$S_{p, p_o + \Delta p > p_c} = HC_s \log \frac{P_o + P_c}{P_o} + \frac{HC_s \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o}}{1 + e_o} \quad (6-4)$$

Penurunan sekunder:

$$S_s = H.C_a \cdot \log(t_2/t_1) \quad (6-5)$$

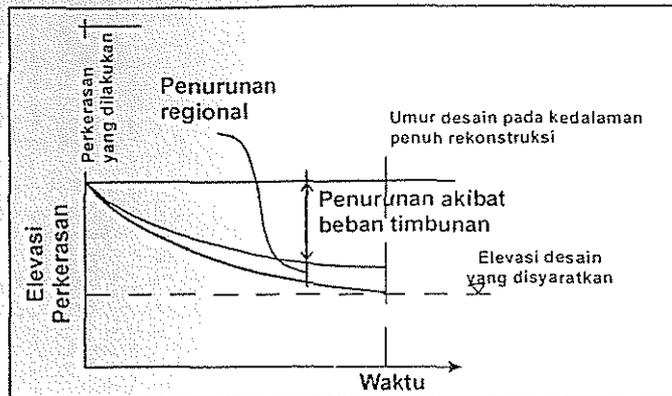
Untuk gambut, metode dari Hanrahan (1981) seperti yang diberikan pada lampiran C, akan dapat memberikan sebuah estimasi awal untuk perhitungan penurunan.

Pada saat melakukan analisis penurunan sekunder, waktu yang digunakan dalam perhitungan harus merupakan umur desain dari perkerasan, yaitu umur desain rekonstruksi pada kedalaman penuh.

#### Penurunan Regional

Beberapa kota besar di Indonesia telah mengalami penurunan regional akibat menurunnya muka air tanah, sehingga akibat lebih lanjut dari pemompaan

akifer yang berlebihan. Hal ini telah terjadi di Bandung, Jakarta, Semarang dan kemungkinan Surabaya. Oleh karena itu, prediksi jangka panjang harus mempertimbangkan hal ini pula, seperti ditunjukkan pada Gambar 6-1.



Gambar 6-1. Penambahan Penurunan Regional dalam Perhitungan Penurunan

## 6.4

### PENYALIR HORIZONTAL

Penyalir horisontal terdiri dari lapisan penutup drainase yang dihamparkan pada seluruh permukaan tanah lunak kompresibel. Penyalir horisontal ini dapat digunakan jika tanah lunak relatif tipis dimana penurunan akibat konsolidasi tidak akan memakan waktu yang lama, yaitu konsolidasi akan selesai selama pelaksanaan. Jika diperlukan, konsolidasi dapat dipercepat dengan menambahkan beban tambahan ekstra.

Untuk mendesain penyalir horisontal :

- 1) hitung stabilitas timbunan sesuai prosedur pada Bab 6.2,
- 2) hitung hubungan tinggi timbunan– faktor keamanan seperti yang dirumuskan pada Bab 6.2,
- 3) hitung besaran penurunan tanah lunak sesuai prosedur pada Bab 6.3,
- 4) hitung hubungan penurunan – waktu seperti yang dirumuskan pada Bab 6.3,
- 5) jika diperlukan, hitung tebal beban tambahan yang diberikan,
- 6) tentukan tebal dari lapis penyalir seperti terdapat dirumuskan pada Bab 4.2.4,
- 7) tentukan kecepatan penimbunan jika terdapat masalah stabilitas,
- 8) tentukan material untuk lapis drainase,
- 9) tentukan persyaratan kontrak lainnya.

Besarnya penurunan dihitung dengan perhitungan penurunan standar menurut Bab 6.3.

## PENGGANTIAN

Untuk desain penggantian sebagian atau keseluruhan :

- 1) hitung besar dan kecepatan penurunan lapisan tanah lunak yang tersisa menurut Bab 6.3,
- 2) tentukan kedalaman tanah lunak yang akan diganti untuk mencapai persyaratan yang diberikan pada Tabel 5-8,
- 3) tentukan kemiringan sisi/lereng galian dan batas galian seperti yang akan dijelaskan pada bagian berikut,
- 4) tentukan persyaratan kontraktual lainnya.

Kemiringan lereng galian harus:

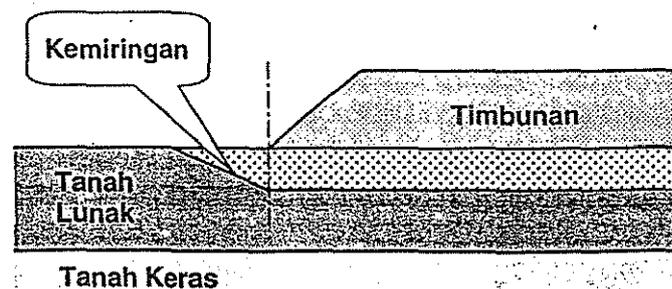
- 1 banding 1, jika galian ditimbun kembali pada hari yang sama,
- 1 banding 3, jika galian dibiarkan terbuka.

Perbandingan ini diambil dengan asumsi bahwa tidak ada pekerja yang akan masuk ke galian yang dalam; oleh karenanya kontraktor harus bertanggung jawab terhadap keamanan galian dan bila diperlukan dapat mengusulkan kemiringan lereng yang lebih landai untuk keamanan. Karenanya menimbun kembali galian secepat mungkin, merupakan praktek yang baik untuk dilaksanakan.

Jika kemiringan galian 1 banding 3 tidak praktis atau tidak memungkinkan, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memastikan bahwa spesifikasi kontrak telah mensyaratkan penimbunan kembali dilakukan pada hari yang sama, sehingga Konsultan Pengawas tahu dan setiap pemeriksaan dan persetujuan harus memenuhi persyaratan tersebut.

Persyaratan kontraktual harus mengidentifikasi kedalaman material yang akan diganti dengan toleransi +/- 5cm baik untuk penggantian sebagian, maupun keseluruhan.

Batas dasar galian harus terletak pada kaki timbunan seperti ditunjukkan pada Gambar 6-2.



Gambar 6-2 Balas Galian untuk Penggantian Tanah Lunak

## BEREM PRATIBOBOT

Desain berem pratibobot meliputi desain ketebalan dan lebarnya. Tahapan dari disain ini adalah sebagai berikut:

- 1) hitung tinggi aman timbunan,  $H_c$ , menurut Bab 6.2,
- 2) hitung tebal dan lebar berem untuk mendapatkan faktor keamanan timbunan utama yang diinginkan,
- 3) periksa apakah berem pratibobot tersebut mempunyai faktor keamanan yang cukup, yaitu tebalnya tak boleh lebih dari  $H_c$ ,
- 4) jika dari hasil perhitungan stabilitas dengan menggunakan berem tunggal tidak memenuhi syarat, ulangi perhitungan dengan menggunakan berem pratibobot ganda.

Sebagai estimasi awal, lebar berem dapat ditentukan sebesar 2.3 kali dari tebal lapisan tanah lunak.

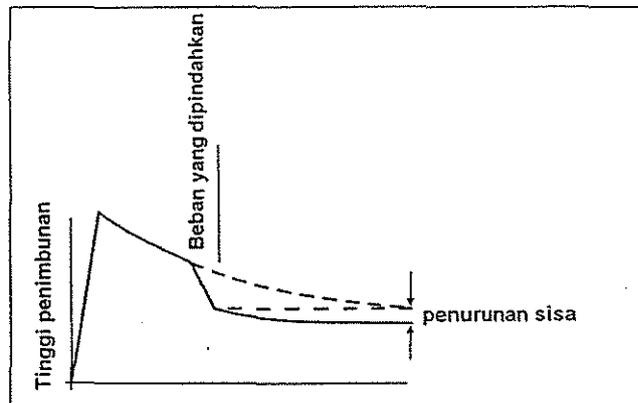
Analisis yang lebih rinci dapat dibuat dengan menggunakan kurva desain pada Gambar 6-3.



Prosedur untuk melakukan analisis penambahan beban adalah sebagai berikut:

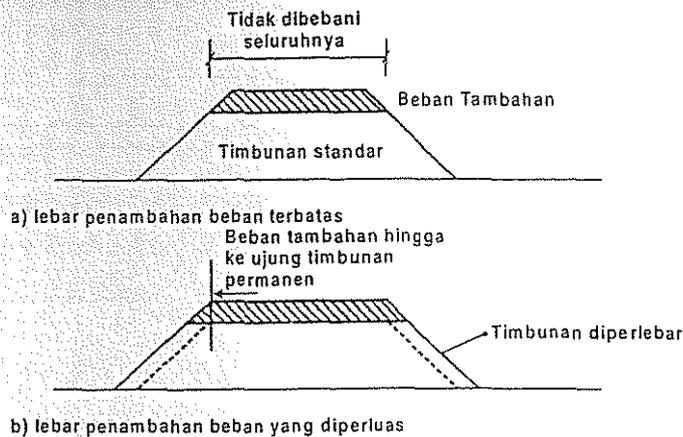
- 1) identifikasi metode konstruksi bertahap bila diperlukan seperti dirumuskan pada Bab 6.8,
- 2) tentukan tinggi beban tambahan tersebut ,
- 3) hitung hubungan penurunan– waktu sebagaimana dirumuskan dalam Bab 6.3,
- 4) tentukan penurunan pasca konstruksi yang diijinkan sebagaimana dirumuskan pada Bab 5.5.3,
- 5) tentukan waktu yang tepat untuk memindahkan beban tambahan tersebut ,
- 6) tentukan sisa penurunan yang akan terjadi,
- 7) jika hasilnya belum memuaskan, ulangi prosedur ini dengan tinggi beban tambahan yang berbeda atau dengan tahapan konstruksi yang berbeda ,
- 8) jika telah didapatkan beban tambahan dan program pelaksanaan yang memuaskan, periksa stabilitas timbunan dengan variasi tahapan pelaksanaan sebagaimana dijelaskan pada Bab 6.2.

Contoh diberikan pada Gambar 6.4.



Gambar 6-4 Analisis Desain Penambahan Beban

Lebar beban tambahan harus dipertimbangkan di dalam analisis. Bila beban tambahan secara sederhana ditambahkan di atas timbunan standar, maka areal di bawah timbunan tersebut tidak sepenuhnya terbebani. Akan lebih baik bila beban tambahan ditambahkan selebar keseluruhan timbunan, dimana hal ini akan memerlukan tambahan lebar timbunan utama seperti ditunjukkan pada gambar 6-5.



Gambar 6-5. Pelebaran Penambahan Beban

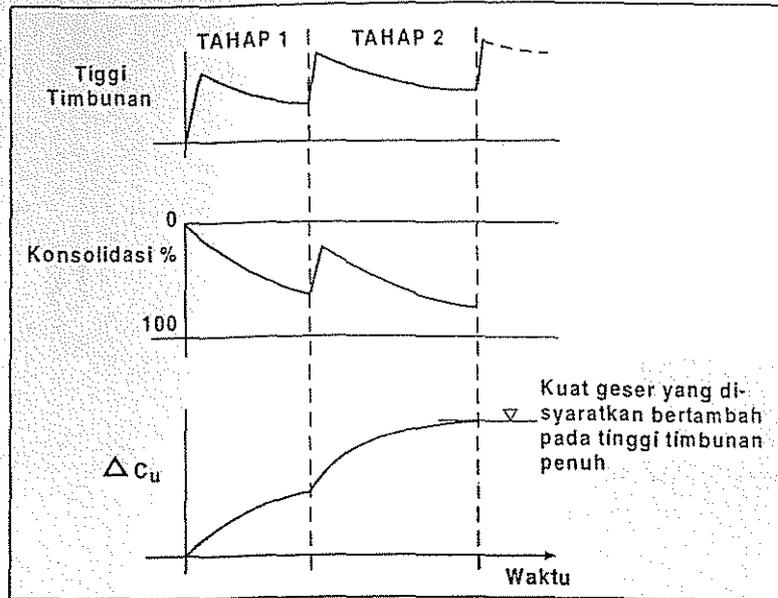
## 6.8

## KONSTRUKSI BERTAHAP

Konstruksi bertahap diperlukan bila desain tinggi timbunan melebihi tinggi kritis yang dapat dipikul lapisan tanah lunak. Prosedur untuk analisis konstruksi bertahap adalah sebagai berikut:

- 1) tentukan faktor keamanan yang diinginkan pada akhir masa konstruksi menurut Tabel 5-7,
- 2) hitung kuat geser yang diperlukan untuk tinggi desain timbunan,
- 3) hitung kenaikan kuat geser  $\Delta c_u$  yang dibutuhkan,
- 4) tentukan tahapan penimbunan, termasuk tinggi dan masa tenggang,
- 5) hitung derajat konsolidasi dan kenaikan kuat geser,
- 6) periksa apakah kenaikan kuat geser yang diinginkan telah tercapai ,
- 7) ulangi dari 4) untuk tahapan coba-coba kedua dan seterusnya, hingga mencapai hasil yang memuaskan.

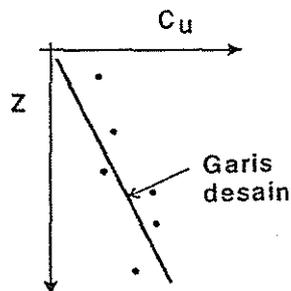
Gambar 6-6 berikut memperlihatkan proses coba-coba secara grafis.



Gambar 6-6 Analisis Konstruksi Bertahap

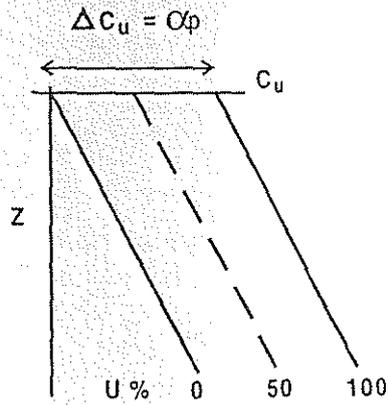
Hubungan antara kenaikan tegangan efektif dengan kenaikan kuat geser tak terdrainase, dapat dihitung sebagai berikut:

Dari parameter-parameter desain yang ada tentukan hubungan antara  $c_u$  dan  $z$  (= kedalaman di bawah muka tanah dasar asli), yaitu:  $c_u = kz$  seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-7.



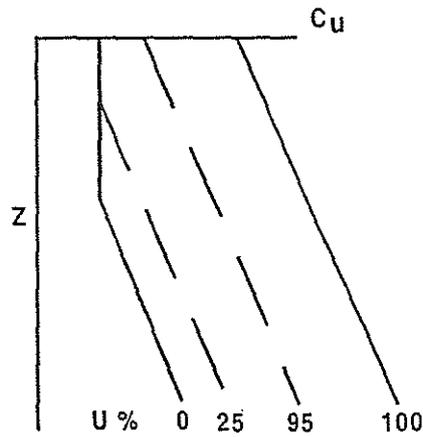
Gambar 6-7 Kuat Geser vs Hubungan Kedalaman

- 1) dengan menggunakan berat isi lapisan tanah lempung, konversikan kedalaman menjadi tegangan vertikal efektif,  $p$ ,
- 2) kemudian hitung  $c_u = \alpha.p$ ,
- 3) lalu asumsikan  $\Delta c_u = \alpha. \Delta p$ ,
- 4) selanjutnya untuk setiap derajat konsolidasi  $U$ , tentukan  $\Delta c_u = U. \alpha. \Delta p$  seperti yang ditunjukkan Gambar 6-8.



Gambar 6-8 Kuat Geser Meningkat terhadap Konsolidasi

Bila pada lapisan tanah lunak terdapat zona yang tekonsolidasi lebih, maka kenaikan kuat geser pada zona ini hanya boleh diterapkan untuk kenaikan tegangan di atas tekanan konsolidasi lebih tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-9.



Gambar 6-9 Penyesuaian Pertambahan Kuat Geser untuk Konsolidasi Lebih

## 6.9 TIMBUNAN DENGAN PERKUATAN

### 6.9.1 Pendahuluan

Pemasangan lapisan geotekstil atau geogrid pada timbunan dapat akan meningkatkan stabilitas. Pemilihan dari sifat-sifat geotekstil dan analisis timbunan yang menggunakan geotekstil, dijelaskan pada bab-bab berikut.

Prilaku geotekstil lebih jauh diberikan oleh Jewell, 1996.

## 6.9.2

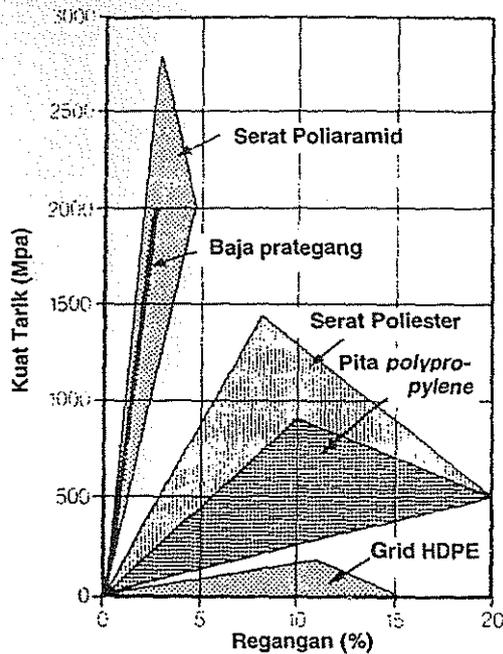
### Sifat-sifat Geotekstil

Tahap pertama dalam analisis adalah memilih sifat-sifat dari geotekstil, atau pilih geotekstil yang telah dikenal luas yang tersedia di pasaran, kemudian gunakan sifat-sifatnya yang telah diketahui tersebut untuk desain.

Informasi berikut harus diidentifikasi sebelum desain yang memuaskan dapat dilakukan:

#### Kuat Tarik & Regangan (*Tensile Strength & Elongation*)

Kuat tarik geotekstil dapat bervariasi dengan kisaran yang lebar seperti terlihat pada Gambar 6-10.



Gambar 6-10 Kuat Tarik Beberapa Material Geotekstil (Exxon, 1989)

Pita *polipropilin*, yang telah digunakan secara luas di Indonesia, mempunyai kuat tarik relatif rendah dan regangan yang besar saat runtuh; oleh karenanya, jenis geotekstil ini cukup memadai untuk digunakan sebagai perkuatan timbunan.

Kuat tarik ultimit dan leleh pada saat runtuh biasanya diberikan oleh produsen dan harus dikonfirmasi dengan pengujian yang independen.

#### Kerusakan pada Saat Pemasangan

Efek yang ditimbulkan dari pemasangan dan pemadatan material timbunan pada geotekstil, dapat mengurangi kekuatannya. Oleh karena itu, sebuah faktor pembagi harus diberikan terhadap kekuatannya untuk memperhitungkan

akibat tersebut. Jika produsen telah memverifikasi efek tersebut dengan percobaan, maka faktor pembagi tersebut dapat digunakan. Jika tidak, gunakan faktor pembagi dari Tabel 6-1. Faktor pembagi ini diturunkan dari penilaian terhadap sejumlah rekomendasi yang diberikan oleh para produsen untuk berbagai tipe geotekstil, dan berdasarkan standar dan aplikasi sesuai jenis tanah yang umumnya ditemui di Indonesia.

Tabel 6-1 Faktor Pembagi untuk Kerusakan pada Instalasi Geotekstil

Tanah	Faktor Pembagi
Lempung, lanau, pasir	1.1
Tanah mengandung minimum 10% kerikil	1.3
Tanah mengandung minimum 50% kerikil bersudut	1.5
Tanah mengandung minimum 10% kerakal	1.5
Tanah mengandung minimum 50% kerakal bersudut	1.8

Bila digunakan faktor pembagi yang rendah, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mensyaratkan lapisan material yang baik dengan ketebalan minimum 30cm, yang memenuhi faktor pembagi yang telah ditentukan tersebut, dan dihamparkan di atas dan di bawah geotekstil.

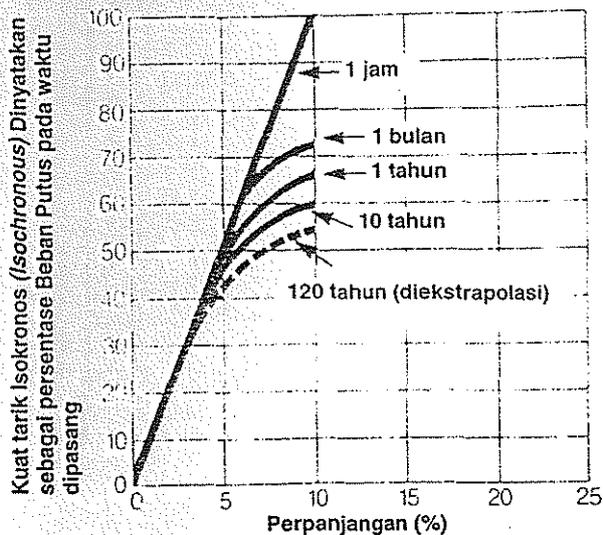
### 6.9.3

#### Faktor Reduksi Rangkak

Sejumlah material sebagai bahan dasar pembuat geotekstil akan mengalami rangkak yang cukup besar akibat pembebanan terus menerus terutama *Polipropilin*, dan besarnya rangkak yang terjadi akan sangat bergantung pada proses pembuatannya. Secara khas, kuat tarik ultimit yang dapat dipikul selama setahun, yang dinyatakan dalam persentase dari kuat ultimit yang diukur dalam uji laboratorium jangka pendek, akan bervariasi dari 60% hingga nol.

Karenanya, faktor reduksi umum tidak dapat diberikan, dan pengujian harus dilakukan untuk setiap tipe material yang dipasarkan oleh produsen. Pengujian ini harus dilakukan pada temperatur yang sesuai dengan kondisi Indonesia, karena rangkak merupakan suatu faktor yang sangat bergantung pada temperatur.

Hasil dari pengujian ini, harus dapat menghasilkan kurva rangkak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6-41. Dari kurva tersebut dan dari umur geotekstil yang direncanakan, faktor reduksi rangkak pada kuat tarik ultimit dapat ditentukan.



Gambar 6-41 Contoh Kurva Rangkak Geotekstil (Exxon, 1989)

## 6.9.4

### Analisis Stabilitas

Bila kuat tarik ultimit desain dari geotekstil telah ditentukan, dengan memperhitungkan faktor reduksi, maka analisis coba-coba dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) hitung faktor keamanan timbunan yang direncanakan,
- 2) hitung faktor keamanan timbunan dengan perkuatan menggunakan geotekstil,
- 3) coba dengan satu, dua atau tiga lapisan perkuatan sesuai kebutuhan,
- 4) tentukan kuat tarik dari material perkuatan tersebut ,
- 5) tentukan kedalaman atau elevasi dari lapisan perkuatan tersebut,
- 6) periksa bentuk ketidakstabilan lainnya atau faktor keamanan terhadap:
  - penyebaran lateral,
  - skuising,
  - Keruntuhan fondasi .

Untuk kasus lapisan tanah lempung lunak yang dalam, sebuah analisis bidang gelincir berbentuk lingkaran dapat digunakan. Tahanan dari perkuatan yang diperlukan, harus dihitung untuk mencapai faktor keamanan yang diinginkan terhadap semua bidang runtuh yang potensial. Kemudian perkuatan tersebut harus dirincikan untuk memberikan tahanan yang diperlukan.

Untuk lapisan tanah lempung yang dangkal, analisis bidang gelincir akan memberikan hasil yang tidak konservatif (Jewell, 1996), dan analisis baji translasi (*translational wedge analysis*) harus digunakan.

## 6.10 MATRAS BERTIANG

Prosedur untuk mendesain timbunan bertiang yang diperkuat dengan geotekstil dijelaskan pada Lampiran D. Alternatifnya, BS8006 memberikan metode desain untuk tiang yang diperkuat dengan matras dan struktur perkuatan tanah lainnya.

## 6.11 PENYALIR VERTIKAL

Prosedur desain:

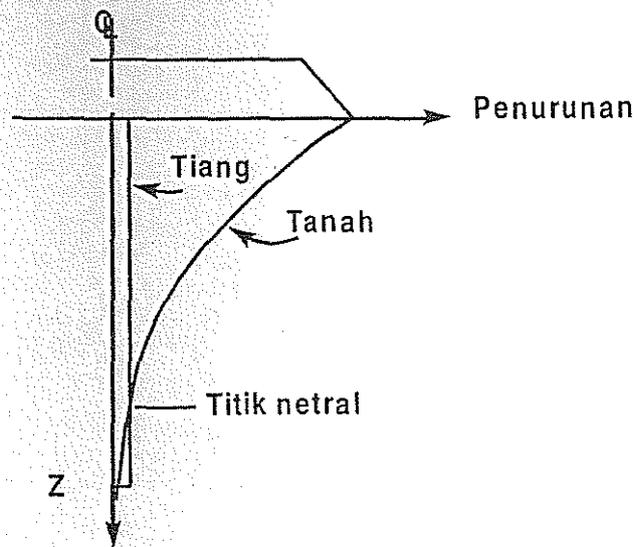
- 1) tentukan penurunan pasca konstruksi yang diijinkan berdasarkan Tabel 5-8,
- 2) pilih kedalaman yang sesuai untuk penyalir vertikal,
- 3) coba suatu jarak spasi penyalir vertikal ,
- 4) hitung besarnya konsolidasi pada akhir masa konstruksi dan penurunan pasca konstruksi ,
- 5) ulangi penentuan jarak penyalir vertikal tersebut hingga penurunan pasca konstruksi yang terjadi dapat diterima,
- 6) variasikan kedalaman penyalir dan ulangi perhitungan untuk mendapatkan jarak dan kedalaman penyalir paling ekonomis.

## 6.12 DESAIN TIANG

Tiang didesain dengan menggunakan metode desain yang biasa.

Jika tiang didesain sebagai tiang tahanan ujung pada lapisan yang relatif keras, maka gesekan kulit negatif harus dihitung pada seluruh panjang tiang pada lapisan yang mengalami penurunan.

Jika tiang dimaksudkan untuk menahan beban dengan gesekan kulit, maka besarnya penurunan pada tiang harus dihitung, dan gesekan kulit negatif dihitung di atas titik netral seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6-52.



Gambar 6-52 Perhitungan Titik Netral Tiang

Jarak antar as tiang's umumnya  $s = 3.5 d$  (dimana  $d$  adalah diameter tiang).

## Interaksi Tanah dan Bangunan

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memahami bahwa timbunan pada tanah lunak memiliki potensi untuk menyebabkan masalah terhadap bangunan di dekatnya ataupun struktur yang dibangun di bawah timbunan.

Zona efektif yang besarnya dua kali ketebalan lempung lunak, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5-4 harus diperhitungkan terhadap pengaruh tersebut.

Ahli Geoteknik yang ditunjuk, harus mengidentifikasi seberapa jauh pengaruhnya dan bekerja sama dengan desainer struktur dan lainnya untuk memecahkan permasalahan ini.

Masalah potensial yang akan timbul terdiri dari :

### Penurunan

Penurunan pada tanah lunak di bawah timbunan dapat menyebabkan tertariknya tiang ke bawah pada zona yang turun, jika tiang menembus lapisan yang lebih keras. Jika tiang dipancang di dalam lapisan tanah lunak, tiang tersebut akan turun bersamaan dengan timbunan.

Oleh karena itu, desain tiang harus memperhitungkan kondisi ini.

### Pergerakan Lateral

Pergerakan lateral dari tanah sebagai akibat dari sebuah timbunan , yaitu:

- terjadinya pergerakan secara fisik dari bangunan di dekat bawah timbunan. Struktur seperti gorong-gorong, gedung, fondasi dangkal, dan utilitas lainnya dapat terpengaruh,
- timbulnya beban lateral pada struktur yang tertanam di dalam tanah yang gerakannya terbatas, terutama terjadi pada tiang.

Besarnya gerakan lateral ini sangat sukar untuk diprediksi pada tingkat akurasi tertentu. Meskipun demikian, hubungan yang diberikan oleh Stewart dkk (1994) dapat memberikan sebuah estimasi awal mengenai defleksi kepala tiang sebagai akibat beban timbunan seperti yang diperlihatkan di bawah ini. Pengaruh ini berhubungan dengan kondisi mendekati keruntuhan, sehingga hal ini dianggap konservatif untuk kondisi yang lebih stabil.

$$\Delta = \rho_u + \rho_c/6 \quad (7.1)$$

$\Delta$  adalah pergerakan lateral pada atau dekat permukaan

$\rho_u$  adalah penurunan tak terdrainase

$\rho_c$  adalah penurunan konsolidasi

Untuk tanah lempung lunak, gerakan lateral ini umumnya berpengaruh pada daerah sampai jarak dua kali kedalaman lapisan lunak.

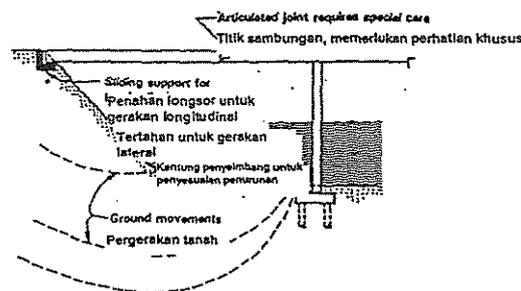
Untuk struktur bertiang, metode dari de Beer & Wallays (1972) telah digunakan secara luas untuk menghitung beban lateral pada tiang akibat dari timbunan. Meskipun demikian, Stewart dkk. (1994) berdasarkan sebuah penelitian yang dilakukan oleh Stewart, menunjukkan bahwa metode ini tidak memberikan hasil yang dapat diandalkan. Stewart dkk kemudian mengembangkan grafik desain yang baru.

Kesimpulan utama yang didapat bila dari seluruh studi pembebanan pada tiang akibat timbunan adalah, bahwa karena faktor keamanan dari timbunan terletak di bawah nilai ambang batas, beban lateral (dan oleh karenanya momen tiang) akan mulai meningkat secara cepat. Dari hasil yang diberikan oleh Stewart dkk. (1994), ambang batas ini akan tercapai pada angka keamanan sekitar 1.7.

Faktor keamanan dari timbunan pada oprit jembatan dan lokasi lainnya dimana struktur bertiang dapat terpengaruh harus di pertahankan di atas 1.7.

### Beban Lateral pada Tiang Abutmen Jembatan

Manual Desain Jembatan (1992) mengatasi masalah ini dengan mensyaratkan fondasi tiang diletakkan di luar zona pengaruh timbunan seperti diperlihatkan pada gambar :



• For general case of pier foundations  
Untuk kasus fondasi tiang yang umum

Penampang Abutmen yang Disyaratkan untuk Membatasi Beban akibat Timbunan (DGH, 1992)

Walaupun desain ini disyaratkan untuk kondisi gempa, tetapi juga cocok digunakan untuk kondisi beban statis.

Perlu dicatat bahwa jembatan pada zona gempa di Indonesia, tidak akan dibangun dengan menggunakan penampang seperti ini, tetapi dibangun dengan menggunakan abutmen dengan fondasi tiang vertikal yang mensyaratkan tiang harus dipancang sebelum konstruksi timbunan. Pada tanah lunak yang dalam, desain seperti itu akan menimbulkan beban lateral yang lebih besar pada tiang.

Penggunaan faktor keamanan yang lebih tinggi akan cukup memadai untuk mengatasi beban gempa. Jika konfigurasi seperti yang direkomendasikan oleh

DGH (1992) diterapkan, yang tidak akan mengakibatkan terjadinya beban pada tiang, maka faktor keamanan yang lebih rendah seperti yang direkomendasikan pada Tabel 5-7 dapat digunakan. Meskipun demikian, hal ini tidak akan mencukupi bila termasuk beban gempa dan suatu analisis beban gempa harus dilakukan pada bagian timbunan yang akan mempengaruhi struktur.

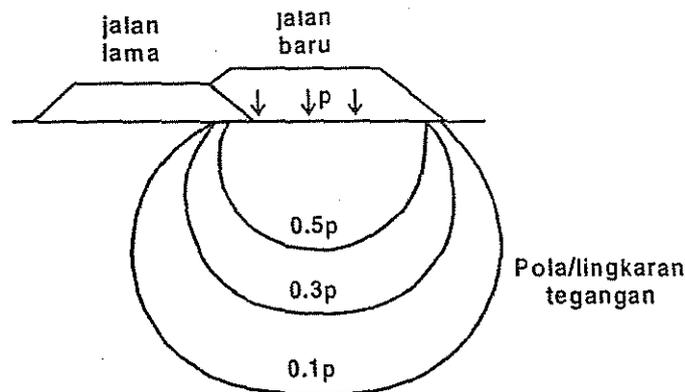
## Pertimbangan untuk Pelebaran Jalan

Bila suatu jalan akan diperlebar untuk menambah lajur atau memperbaiki alinyemen, pertimbangan stabilitas dan penurunan yang berlaku umum untuk jalan baru, juga dapat diterapkan. Namun demikian, pada kasus ini, faktor lain perlu diperhatikan, seperti dijelaskan di bawah ini.

Penyelidikan lapangan harus mengidentifikasi konstruksi jalan yang ada, apakah ada perbaikan tanah atau pemindahan tanah yang telah dilakukan, dan faktor lainnya yang spesifik pada waktu pelaksanaannya.

Adalah sangat membantu, bila gambar konstruksi bisa diperoleh, tetapi penyelidikan lapangan harus didesain untuk memastikannya.

Bila terdapat lapisan tanah lunak di bawah jalan yang ada, maka pelebaran timbunan baru di dekatnya, akan menyebabkan penurunan lebih lanjut seperti diperlihatkan pada Gambar 8-1. Besarnya penurunan dapat dihitung dengan melakukan analisis tegangan elastis untuk menghitung kenaikan tegangan dan konsolidasi secara teoritis, seperti dijelaskan pada Bab 6.3.

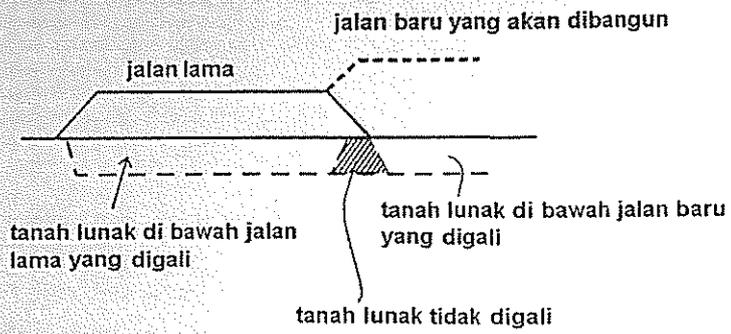


Gambar 8-1 Kenaikan Tegangan di Bawah Jalan Lama

Bila direncanakan dilakukan penggalian tanah lunak sepanjang alinyemen jalan baru, maka harus direncanakan :

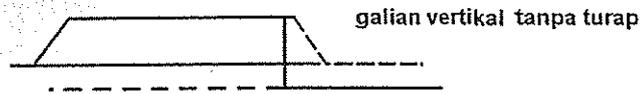
- seberapa jauh galian tersebut harus dilakukan masuk ke dalam timbunan jalan lama,
- bagaimana dinding galian harus ditopang.

Konsekuensi dari tidak diperhatikannya hal-hal tersebut diperlihatkan pada Gambar 8-2.



a) Tanah lunak digali tanpa spesifikasi yang tepat

retakan pada perkerasan jalan



b) Turap galian tidak dispesifikasikan dengan tepat

Gambar 8-2 Penggalian Tanah Lunak di Sekitar Jalan Lama

# 9

## Proses Pengambilan Keputusan

### 9.1

#### PENGANTAR

Proses pengambilan keputusan dilakukan setelah semua data yang dibutuhkan telah terkumpul dan dianalisis. Namun proses pengambilan keputusan harus dipahami sebelum pengumpulan data dan analisis dilaksanakan, sehingga informasi yang tepat telah tersedia untuk para pengambil keputusan.

Untuk menghasilkan suatu keputusan yang terstruktur, proses pengambilan keputusan harus mengikuti prosedur yang diperlihatkan pada Gambar 9-1.

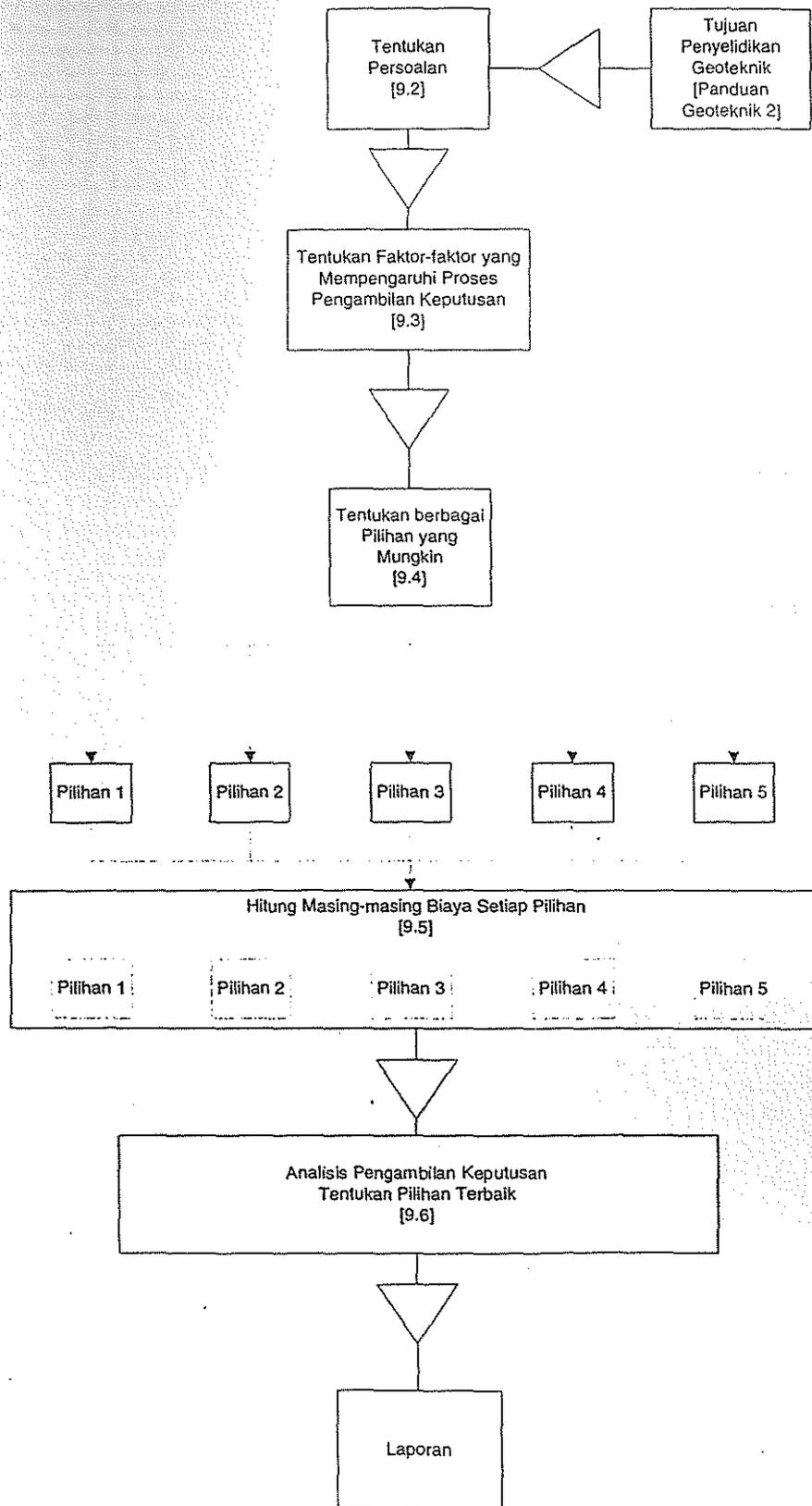
Setiap langkah pada proses tersebut dijelaskan pada bagian selanjutnya dengan mengacu pada gambar tersebut.

Model keputusan terstruktur biasanya tidak digunakan pada desain rekayasa struktur, karena peraturan desain struktur umumnya telah menjamin kualitas yang dapat diterima dan resiko yang rendah. Oleh karenanya, desain alternatif yang sesuai dengan peraturan dapat dipilih hanya berdasarkan pertimbangan biaya.

Dalam desain geoteknik, hal tersebut tidak berlaku. Kualitas, waktu dan resiko jarang dipertimbangkan secara eksplisit, atau dipertimbangkan secara semestinya.

Pengambilan keputusan geoteknik, sering dilakukan oleh ahli yang berpengalaman yang menyertakan secara implisit faktor-faktor tersebut. Akibatnya, proses pengambilan keputusan tidak bisa dimengerti oleh orang lain, dan tidak dapat dikaji ulang jika keadaan berubah.

Model keputusan terstruktur juga memperlihatkan, bahwa bagi kebanyakan desain geoteknik untuk konstruksi jalan adalah tidak mungkin untuk mencapai suatu hasil yang memuaskan untuk semua pihak. Jika Pemilik Proyek telah menetapkan anggaran dan waktu, maka kualitas jadi terbatas dan Ahli Geoteknik mungkin tidak akan dapat menghasilkan desain yang memenuhi standar yang diinginkan.



Gambar 9-1 Proses Pengambilan Keputusan

## 9.2

### MENGIDENTIFIKASI MASALAH YANG HARUS DIPECAHKAN

Masalah yang harus dipecahkan dapat dilihat pada tujuan Ahli Geoteknik di Panduan Geoteknik 2, masalah tersebut harus disaring dari tujuan lainnya dan dinyatakan secara tertulis pada permulaan proses desain. Sebuah contoh diberikan pada .

Tabel 9-1. Contoh Lembar Tujuan Desain

Proyek: Jalan penghubung X ke Y	
Tujuan Desain Geoteknik	
1	Desain timbunan biasa (Zona 1, 2, 4) untuk suatu periode konstruksi maksimum 18 bulan
2	Desain oprit jembatan Kali K (Zona 3) termasuk hubungan dengan ahli struktur
3	Desain fondasi gorong-gorong kotak pada Sta 5 + 050 (Zona 5)
4	Persiapan Spesifikasi Khusus untuk persyaratan yang tidak ada dalam Spesifikasi Standar
5	Identifikasi pengawasan lapangan dan persyaratan pengujian bahan
6	Persiapan rencana pemantauan

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk \_\_\_\_\_  
Tanggal \_\_\_\_\_

## 9.3

### MENGIDENTIFIKASI FAKTOR-FAKTOR YANG AKAN MEMPENGARUHI PROSES PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Faktor-faktor yang akan mempengaruhi proses pengambilan keputusan biasanya akan sama untuk semua proyek, seperti ditunjukkan pada Tabel 9-2.

Bobot yang diterapkan terhadap faktor-faktor tersebut akan berbeda antara satu proyek dengan proyek lainnya, dan Ahli Geoteknik yang Ditunjuk tidak perlu berada dalam posisi untuk mengenali semua faktor atau bobot yang diberikan. Namun dengan mengikuti prosedur yang dipaparkan pada Panduan ini, ia akan dapat memperhatikan semua faktor tersebut, dan memastikan bahwa Ketua Tim dan Kepala Proyek akan mempertimbangkan semuanya dengan cara yang layak. Jika memungkinkan Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mendapatkan persetujuan atas bobot yang dipilih, sebelum melaksanakan desain; jika hal ini tidak memungkinkan, maka hal ini harus dinyatakan dalam Laporan Desain.

Sebagai permulaan yang sederhana, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mempersiapkan suatu Tabel yang mengidentifikasi semua faktor yang dianggap penting terhadap proyek, dan mengenali secara subyektif perkiraannya terhadap

pembobotan faktor-faktor tersebut, tingkat kepentingannya serta dan alasannya. Sebuah contoh diberikan pada Tabel 9-2.

Perlu dicatat bahwa, jika bobot atas Faktor-faktor yang diidentifikasi semuanya Tinggi, maka proses tersebut tidak akan ada artinya. Beberapa faktor pasti memiliki tingkat kepentingan yang lebih dari lainnya, dan analisis pembobotan harus dapat mengidentifikasi hal ini. Sebagai panduan umum tidak boleh ada TIGA faktor yang memiliki bobot yang tinggi.

Tabel 9-2. Faktor-faktor dan Pembobotan untuk Proses pengambilan Keputusan

	Faktor	Bobot	Komentar
Biaya	Biaya Modal	Tinggi	Anggaran telah ditetapkan
	Biaya Perawatan	Rendah	Anggaran perawatan terpisah; tidak ada pertimbangan biaya seumur hidup.
Waktu	Masa Kontrak Konstruksi	Tinggi	Periode pinjaman (loan) membutuhkan pekerjaan tanah selesai dalam 2 waktu tahun
Kualitas	Kualitas permukaan perkerasan	Rendah	Untuk memenuhi standar yang ada
Resiko	Resiko keterlambatan konstruksi	Rendah	Periode perpanjangan waktu biasanya disetujui. Kontraktor tidak mengklaim atas keterlambatan akibat kesalahan desain.
	Resiko kegagalan selama konstruksi	Menengah	Kegagalan biasanya terjadi di daerah ini
	Resiko kegagalan atau perawatan yang besar setelah konstruksi	Rendah	
Dampak Lingkungan	Gunakan bahan-bahan alami	Rendah	Penggunaan kayu mungkin mendapatkan hambatan dari LSM
	Dampak lalu-lintas akibat konstruksi	Sangat rendah	Daerah yang padat lalu-lintas
	Aliran air permukaan dan polusi air tanah	Sangat rendah	Air permukaan yang ada tidak berkualitas tinggi
Dampak Sosial	Kebutuhan lahan	Tinggi	Pengalaman sebelumnya di daerah ini

## 9.4

### PEMILIHAN DAN ANALISIS ATAS BERBAGAI PILIHAN

Pilihan-pilihan yang tersedia dijabarkan pada Panduan Geoteknik ini. Semua pilihan yang layak harus diidentifikasi sebagai tahap awal dalam proses pengambilan keputusan.

Analisis rekayasa yang mendalam tidak diperlukan atas semua pilihan yang ada. Biasanya dimungkinkan untuk menghilangkan beberapa pilihan dari suatu penilaian awal mengenai kelebihan dan kekurangannya, seperti diperlihatkan

pada contoh terpisah di 2. Perlu dicatat bahwa kelemahan tersebut berkaitan dengan proyek tertentu dan tidak boleh diambil langsung dari tersebut yang dinyatakan pada ceklist dalam Lampiran A.

Tabel 9-3 Contoh Terpisah Keputusan Penolakan Awal

Proyek: Jalan Penghubung X ke Y		
Lokasi Zona A: Timbunan Oprit Jembatan Keputusan Penolakan Awal		
Pilihan	Kriteria Penolakan	Komentar
Lantai bertiang	Sangat mahal	Pengeluaran tidak dibenarkan untuk Jalan Kabupaten
Konstruksi satu tahap untuk timbunan biasa	Tidak stabil tanpa berem pratibobot yang besar Penurunan jangka panjang akan besar	

## 9.5

### MENGIDENTIFIKASI BIAYA UNTUK SETIAP PILIHAN

Semua pilihan yang dikemukakan pada Panduan Geoteknik ini yang tidak ditolak pada tahap awal proses pengambilan keputusan di atas, harus dianalisis untuk mengidentifikasi biaya setiap faktornya. Perhitungan biaya membutuhkan:

- desain awal,
- suatu kaji ulang terhadap desain untuk mengidentifikasi biaya.

Dalam konteks ini “Biaya” tidak hanya berkaitan dengan biaya dalam arti moneter. Hal ini termasuk pula dampak lingkungan, sosial dan resiko. Sejauh ini suatu nilai moneter telah diberikan pada semua dampak tersebut sehingga didapatkan biaya moneter yang sebenarnya untuk dinilai. Meskipun demikian, untuk proyek pembangunan jalan, pada saat ini tidak ada suatu model yang telah dikembangkan yang menyertakan banyak variabel. Bahkan jika model yang sangat sederhana diterapkan, pemilihan informasi yang cocok yang relevan untuk Indonesia dalam hal-hal seperti laju penurunan kualitas jalan, biaya penundaan, biaya perawatan dan seterusnya, akan merupakan pekerjaan yang besar.

Satu contoh evaluasi diperlihatkan pada Tabel 9-4, yang hanya meliputi dua pilihan, dengan pembobotannya telah ditentukan.

Jalan Penghubung dari X ke Y				
Lokasi Zona A: Timbunan Oprit Jembatan				
			Pilihan 1	Pilihan 2
	Faktor	Bobot	Biaya	Biaya
Biaya	Biaya Awal/Modal	Tinggi	Rp8.5juta/ m lari	Rp10.4juta/m lari
	Biaya Perawatan	Rendah	3	2
Waktu	Masa Kontrak Konstruksi	Tinggi	4	2
Kualitas	Kualitas permukaan perkerasan	Rendah	3	2
Resiko	Resiko penundaan konstruksi	Rendah	5	1
	Resiko kegagalan selama konstruksi	Menengah	2	1
	Resiko kegagalan atau perawatan yang besar setelah konstruksi	Rendah	2	2
Dampak Lingkungan	Penggunaan bahan alami	Rendah	3	4
	Dampak lalu-lintas akibat konstruksi	Sangat rendah	2	2
	Aliran air permukaan dan polusi air tanah	Sangat rendah	1	1
Dampak Sosial	Kebutuhan Lahan	Tinggi	4	1

Pilihan 1 Penyalir vertikal dan konstruksi bertahap dengan beban tambahan

Pilihan 2 Tiang kayu dan matras yang diperkuat dengan geogrid

Kecuali modal awal, pada contoh ini masing-masing bagian dinilai pada kolom Biaya pada skala dari 1 sampai 5:

- 1) biaya/dampak/resiko sangat rendah,
- 2) biaya/dampak/resiko rendah,
- 3) biaya/dampak/resiko sedang,
- 4) biaya/dampak/resiko tinggi,
- 5) biaya/dampak/resiko sangat tinggi.

Skala apapun yang memudahkan dapat digunakan.

## Menentukan Biaya

Sistem evaluasi dan pembiayaan yang lebih kompleks atau penilaian masing-masing faktor dapat dipertimbangkan jika proyek menjamin pekerjaan tambahan ini. Terutama:

### Pembiayaan seumur hidup (Whole life costing)

Untuk masing-masing desain, pembiayaan seumur hidup konstruksi dihitung. Hal ini melibatkan identifikasi biaya perawatan, biaya kegagalan yang dapat terjadi di masa yang akan datang, termasuk biaya keterlambatan akibat dari kegagalan tersebut. Maka biaya dihitung dengan harga pada saat ini.

Sayangnya sangat sedikit petunjuk terhadap perbedaan biaya-biaya yang akan terjadi selama umur jalan sebagai akibat dari metode konstruksi yang berbeda. Meskipun suatu estimasi bisa dibuat berkenaan dengan penurunan kualitas perkerasan dan bahkan kegagalan, konsekuensi berkenaan dengan biaya tidak bisa secara mudah diestimasi. Oleh karena itu, model pembiayaan seumur hidup seperti itu tidak pernah dikembangkan untuk membuat keputusan geoteknik kecuali untuk kasus-kasus yang sangat terbatas.

### Penilaian Resiko

Kemungkinan hasil yang beragam dari tiap tipe desain bisa diperkirakan melalui penilaian resiko. Seperti dalam kasus pembiayaan seumur hidup, penilaian resiko berkenaan dengan hal geoteknik untuk konstruksi jalan tidak begitu maju, dibandingkan dengan bidang lain seperti industri tenaga nuklir, industri kimia, dan perminyakan. Akibatnya, penilaian resiko membutuhkan masukan subyektif yang cukup besar dari seorang Ahli geoteknik yang sudah terbiasa dengan tipe proyek dan prosedur-prosedur resiko.

## 9.6

## PENETAPAN PILIHAN TERBAIK

Informasi yang memadai harus sudah tersedia untuk menetapkan pilihan yang terbaik atau untuk mengidentifikasi pilihan dengan biaya yang berbeda-beda.

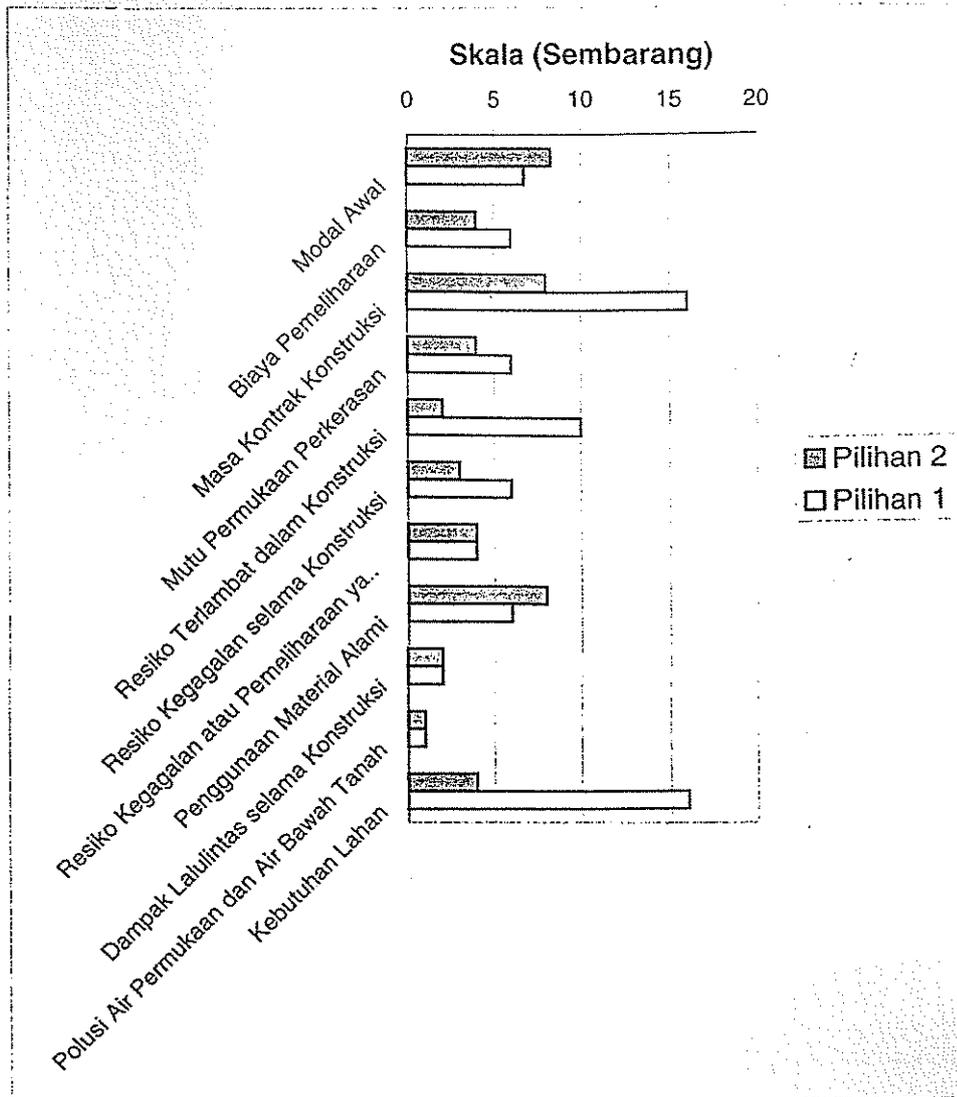
Proses pengambilan keputusan bisa diselesaikan dengan menggunakan pendekatan numerik atau dengan melakukan Analisis Biaya secara subyektif.

Karena adanya kesulitan dalam dengan menetapkan biaya moneter terhadap berbagai faktor, disarankan bahwa pendekatan subyektif diadopsi secara umum.

Pada kasus seperti Tabel Keputusan pada Tabel 9-4, yang hanya membandingkan dua pilihan, hanya melihat pada pilihan yang berbobot tinggi. Pilihan 1 sekitar 10% lebih murah, tetapi memiliki dampak yang tinggi pada periode konstruksi dan pada kebutuhan lahan. Kecuali jika terdapat keterbatasan anggaran yang ketat, kemungkinan Pilihan 2 akan disarankan.

Suatu metode semi kuantitatif yang memungkinkan hasil dipresentasikan secara grafis diperlihatkan pada Gambar 9-2. Angka-angka diperoleh dengan

menetapkan suatu skala dari 1 (sangat rendah) sampai 4 (tinggi) untuk uraian pembobotan dan mengalikan bobot ini dengan biaya.



Catatan: Nilai Modal Awal telah dibagi dengan 5 untuk menghindari kesan yang menyesatkan akibat bobot yang tinggi.

Gambar 9-2 Perbandingan Berbagai Pilihan yang Digambarkan secara Grafis

### Moneterisasi Biaya (Monetarisation)

Jika biaya semuanya dinilai dalam uang (Rupiah) maka Biaya Bobot Total dari masing-masing pilihan bisa dihitung

$$\text{Biaya Bobot Total} = \sum (\text{Pembobotan} * \text{Biaya})$$

Tetapi akan menyesatkan bila biaya hanya diidentifikasi pada suatu skala nominal seperti pada Tabel 9-4 karena skala akan memiliki arti yang berbeda untuk masing-masing faktor, dan hasilnya tidak bisa secara bersamaan dijumlahkan karena tidak akan memiliki arti.

Jika terdapat daerah yang mengandung ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mempertimbangkan untuk melakukan penyelidikan tambahan atau uji coba, seperti dijelaskan pada Bab 11, untuk menentukan perilaku tanah.

## 9.7

### **PELAPORAN PROSES PENGAMBILAN KEPUTUSAN DAN REKOMENDASI**

Laporan Desain mengidentifikasi pilihan yang disarankan untuk setiap elemen proyek, dan menyajikan alasannya dalam format berikut ini:

- solusi yang disarankan dengan Nilai berdasarkan pada Tabel 9-4,
- lampiran yang memperlihatkan semua solusi yang telah dianalisis dengan nilai seperti yang diperlihatkan pada Tabel 9-4,
- lampiran yang memperlihatkan solusi yang tidak dianalisis seperti yang ditunjukkan pada 3.

## Laporan Desain

Laporan Desain harus memenuhi tujuan-tujuan berikut:

- berisi gambaran yang jelas mengenai logika rekomendasi yang dibuat dan data yang digunakan untuk mencapai rekomendasi,
- memberikan suatu acuan untuk keperluan yang akan datang jika desain perlu diganti atau jika ditemukan masalah selama pelaksanaan,
- memungkinkan acuan selanjutnya untuk interpretasi data oleh ahli lain pada proyek lain.

Laporan Desain harus berisi informasi seperti tercantum di bawah ini. Jika ada bagian yang tidak dimasukkan dalam Laporan, maka alasan penghilangannya harus diberikan.

### Sampul

Lihat format di Lampiran E

Laporan harus secara jelas disebutkan statusnya, sebagai

<b>AWAL</b>	jika tidak semua isi yang diinginkan dicantumkan
<b>DRAF</b>	jika isi laporan lengkap, tetapi sedang diedarkan untuk dikomentari. Draf dapat pula mengandung isi yang belum diedit.
<b>AKHIR</b>	

Sebuah tanggal harus selalu diperlihatkan pada sampul.

### Rangkuman Eksekutif

Identifikasi Unit Tanah yang utama dan solusi yang disarankan untuk masing-masing Zona Proyek.

Rangkuman Eksekutif harus memadai untuk memberikan masukan geoteknik terhadap Laporan Desain Proyek.

### Daftar Isi

Harus berisi daftar tiap bab dari suatu laporan, dengan nomor halaman. Harus berisi semua Tabel, Gambar, Gambar Teknik dan Lampiran.

Lihat format pada Lampiran E

### **Lembar Pemenuhan**

Lihat format pada Lampiran E 3

Jika Laporan merupakan Laporan Awal atau Draf maka hal ini harus disebutkan.

### **Pendahuluan**

Memberikan rujukan penuh terhadap Laporan Faktual.

Menyebutkan tanggal pekerjaan dilaksanakan: lihat Lampiran A Ceklist 1.

Menyebutkan aspek-aspek yang penting dari pekerjaan.

Jika merupakan Laporan Awal, nyatakan lingkup pekerjaan yang dicakup dan apa hal apa saja yang masih harus dilakukan.

### **Penjelasan Tujuan**

Ulangi tujuan yang didefinisikan pada permulaan proses desain pada Bab 8.2 dari Panduan, dan identifikasi tiap modifikasi yang dibuat terhadap tujuan selama proses desain.

Bagian akhir dari bab ini harus diberi Sub Judul :

#### Pencapaian Tujuan

Salah satu dari dua paragraf berikut ini harus dimasukkan pada Bab ini:

Tujuan proses desain telah dicapai.

Beberapa tujuan dari proses desain belum dicapai, seperti dijelaskan di bawah ini:

Jika paragraf kedua yang diadopsi, maka tujuan yang belum dicapai harus disebutkan, bersama dengan alasan mengapa belum tercapai. Rujukan harus dimasukkan jika terdapat bagian lain dari laporan yang berkaitan dengan bagian khusus ini.

### **Contoh: Pencapaian Tujuan**

Beberapa tujuan proses desain belum dicapai, seperti dijelaskan sbb:

Tanah sekitar Lokasi Jembatan 23 telah dimanfaatkan untuk perumahan murah, dan lokasi untuk membuat lubang bor sangat terbatas. Kondisi tanah sekitar jembatan cukup variatif, dan informasi yang diperoleh hanya cukup untuk menyajikan interpretasi kondisi tanah yang bersifat pendahuluan. Rekomendasi untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan untuk desain cprit jembatan dimasukkan pada Bab 19.3.2.

Elevasi banjir desain untuk Seksi 3 Proyek (Zona 7 sampai 11) belum diselesaikan. Desain Geoteknik Zona 7 sampai 11 harus ditinjau ulang setelah elevasi timbunan akhir sudah ditentukan.

### **Gambaran Lokasi**

Patok/titik dan sistem koordinat yang digunakan untuk pengukuran dan hubungannya dengan Titik Tetap Nasional.

Topografi – suatu gambaran yang cukup untuk memasukkan bab berikut dalam konteks termasuk detil/elevasi tanah asli.

Sistem drainase – penjelasan yang cukup sehingga pembaca mengerti apa pengaruh dari sistem drainase terhadap desain geoteknik.

Suatu Denah Kunci yang cukup rinci sehingga seseorang bisa menemukan lokasi dengan mudah.

Denah Umum yang cukup rinci untuk memperlihatkan detil proyek, topografi dan detil drainase.

**Jika elevasi tanah asli pada lokasi penyelidikan lapangan belum diukur dan belum dihubungkan dengan suatu datum permanen (titik tetap), maka hal ini dapat dianggap sebagai suatu kegagalan pemenuhan Tujuan. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus memberikan alasan yang jelas mengapa ini dapat terjadi.**

### **Geologi**

Geologi regional – rangkuman berdasarkan pada data yang dipublikasi atau lainnya . Peta dan data lainnya harus diidentifikasi. Jika Ahli Geoteknik yang ditunjuk mengidentifikasi adanya kekurangan pada data yang dipublikasi, dan melakukan interpretasi geologi regional untuk proyek, maka hal ini harus dijelaskan.

Geologi lokal – interpretasi geologi lokal berdasarkan hasil penyelidikan lapangan dan membandingkan dengan geologi regional. Peta geologi dan potongan harus disertakan untuk memperjelas interpretasi.

Stratigrafi proyek – mengikuti penjelasan geologi lokal, gambaran ini akan mengidentifikasi interpretasi Stratigrafi di lokasi proyek, dengan menggunakan peta dan penampang geologi.

Variasi lithologi – Hal ini akan menjadi suatu pengantar terhadap gambaran selanjutnya dari Unit Tanah dan akan mengidentifikasi variasi yang penting dalam konteks rekayasa geoteknik atau dalam menginterpretasi Unit Tanah yang berbeda.

### **Hidrogeologi**

Elevasi air tanah – elevasi yang diukur selama penyelidikan dan interpretasi variasi elevasi air tanah.

Aliran – gambaran aliran air tanah yang mungkin dan penjelasannya.

Pengaruh musim – pertimbangan waktu saat penyelidikan dilaksanakan dan pengaruhnya terhadap muka air tanah dalam jangka panjang.

Pengaruh pasang surut – untuk lokasi dekat, atau di daerah jangkauan pasang surut, dan pengaruhnya terhadap muka air tanah.

Banjir – Ahli Geoteknik yang ditunjuk diharapkan akan mendapat informasi dari ahli hidrologi mengenai elevasi banjir desain dan kemungkinan elevasi banjir maksimum. Persyaratan desain untuk desain geoteknik kemudian ditetapkan, dan dasar kriteria desain dijelaskan.

Sifat-sifat kimia air tanah – sifat perusak dari air tanah terhadap bahan bangunan.

### **Parameter Desain**

#### **Umum**

Kaji ulang nilai-nilai indeks dan parameter lainnya, dan rujukan kembali ke Geologi, untuk mengidentifikasi alasan pemilihan Unit Tanah.

Rujukan kelampiran untuk menjelaskan semua data yang ditolak. Bila tidak ada data yang ditolak, maka pernyataan berikut ini harus disertakan

**Semua data yang diperoleh dari Penyelidikan Tanah, telah dikaji dan dipandang telah memadai untuk keperluan desain geoteknik.**

Gambar-gambar yang memperlihatkan distribusi Unit Tanah di lokasi proyek.

#### **Penampang masing-masing Unit Tanah:**

Analisis data untuk masing-masing nilai indeks dan parameter tanah untuk desain.

Kesimpulan mengenai kisaran nilai yang benar. Untuk parameter yang digunakan dalam desain, kesimpulan mengenai desain yang cocok.

Tabel yang merangkum semua parameter desain: lihat contoh pada Lampiran E.

### **Prosedur Desain:**

#### *Pengantar*

Identifikasi persyaratan desain – penjelasan proyek dan rujukan penuh terhadap rencana umum dan gambar lainnya yang disediakan dan digunakan untuk desain.

Identifikasi setiap keterbatasan terhadap desain: periode kontrak, ketersediaan lahan, anggaran yang tersedia.

### **Standar dan Peraturan yang Digunakan dalam Desain Geoteknik.**

Parameter desain umum: elevasi banjir – beban gempa – persyaratan beban hidup

Identifikasi masing-masing struktur bangunan yang akan didesain dengan suatu tabel rangkuman persyaratan-persyaratannya.

#### **Zonasi Lokasi**

Penjelasan sistem zonasi yang digunakan untuk proyek termasuk bangunan fisiknya.

### **Rangkuman Desain & Kesimpulan**

Desain : Berbagai Pilihan – Rekomendasi.

Untuk masing-masing Zona dan untuk masing-masing struktur bangunan:

- identifikasi masalah – merujuk ke hasil-hasil perhitungan, yang akan dimasukkan atau dirangkumkan pada Lampiran – identifikasi solusi-solusi yang tersedia,
- siapkan matriks keputusan – identifikasi solusi yang diinginkan dan solusi lainnya yang diperingkat berdasarkan urutan pilihan yang lebih baik,
- rangkum masing-masing struktur bangunan, kenali Zona dan solusi yang disarankan dalam suatu format tabel.

### **Spesifikasi dan Kontrak**

Sertakan spesifikasi khusus dan persyaratan lainnya yang akan dimasukkan dalam Kontrak.

Identifikasi tingkat Supervisi yang diperlukan dan pengalaman minimum dari ahli yang melakukan Supervisi.

### **Isu Lingkungan**

Rangkum dampak lingkungan dan mengacu pada Laporan Lingkungan untuk Proyek.

### **Referensi**

Semua sumber informasi, metode desain dan data eksternal lainnya yang digunakan dalam laporan, harus dirujuk secara penuh.

### **Tabel**

### **Gambar**

### **Gambar Teknik**

Semua gambar teknik harus berisi informasi sbb :

Untuk semua gambar teknik: skala, nomor gambar teknik, rujukan terhadap sumber data untuk informasi pengamatan lapangan dan sebagainya.

Untuk denah (peta) perlu tambahan: Penunjuk arah utara, grid (bujur / lintang).

Uji coba dilaksanakan untuk pelaksanaan proyek dimaksudkan untuk konfirmasi perilaku yang diasumsikan. Uji coba hanya dibenarkan jika asumsi yang diambil akan menghasilkan penghematan biaya yang besar, dan akan menimbulkan tambahan biaya yang besar jika asumsi tersebut yang diambil ternyata salah.

Keuntungan yang maksimum dari uji coba dapat diperoleh bila pelaksanaan uji coba serta hasilnya dipergunakan dalam desain, dan uji coba tersebut dilaksanakan sebelum kontrak konstruksi ditenderkan. Namun dengan adanya kontrak sebelum turunnya Daftar Isian Proyek (DIP) yang biasanya dilakukan di Indonesia, pendekatan ini biasanya tidak memungkinkan, dan uji coba perlu dimasukkan di dalam kontrak konstruksi. Meskipun uji coba seperti ini akan memberikan beberapa keuntungan pelaksanaan konstruksi, keuntungan bagi pemilik proyek menjadi sangat berkurang.

Uji coba yang mungkin diperlukan untuk desain timbunan dan pelaksanaan pada tanah lunak adalah :

- uji coba timbunan percobaan untuk membebani tanah dan mengenali perilaku tanah,
- uji coba timbunan yang menggunakan perkuatan, matras atau bahan timbunan khusus untuk meyakinkan bahwa hal tersebut bisa dilaksanakan dengan keahlian yang ada, dan untuk menentukan prosedur pengendalian mutu dalam pelaksanaannya,
- uji coba galian untuk mengetahui prosedur yang memuaskan dalam hal memindahkan atau memperbaiki tanah lunak,
- uji coba instalasi perbaikan tanah untuk mengetahui perilaku tanah lunak,
- uji coba tiang untuk mengetahui daya dukung tiang dan syarat pemancangannya.

Uji coba dapat saja terdiri atas kombinasi dari aspek-aspek tersebut diatas

Keuntungan uji coba sebaiknya diidentifikasi dengan suatu analisis keuntungan biaya yang sederhana. Biaya membangun timbunan atau suatu alternatif struktur, menggunakan parameter dan data yang diketahui, dan menghasilkan desain yang secara konservatif bisa diterima, harus diestimasi sebagai biaya dasar. Kemudian tujuan dari suatu percobaan adalah untuk mencoba mengurangi biaya dasar ini. Beberapa estimasi harus dibuat mengenai biaya konstruksi jika uji coba berhasil; sehingga penghematan biaya bisa dibandingkan dengan biaya percobaan. Sebuah contoh pendekatan diberikan berikut ini.

Sebelum melaksanakan uji coba prosedur berikut harus diselesaikan

- identifikasi tujuan khusus dari uji coba,
- siapkan desain lengkap untuk uji coba,
- siapkan prediksi perilaku timbunan, dan identifikasi variasi yang mungkin dari perkiraan terbaik ini
- rencanakan program dan skema pemantauan yang sesuai dengan perilaku yang diprediksi dan variasi yang diprediksi, dengan memperhatikan petunjuk pada Bab 13 dari Panduan ini,
- identifikasi jangkauan hasil yang didapat dari uji coba, dan identifikasi konsekuensinya terhadap desain.

Bentuk yang paling umum dari percobaan adalah uji coba timbunan percobaan, dan garis besar prosedur untuk melaksanakan timbunan percobaan diberikan pada Lampiran F.

#### **Contoh: Mengidentifikasi Keuntungan dari Suatu Percobaan**

Suatu jalan dekat pantai dengan panjang sekitar 4 km direncanakan akan dibangun di atas tanah lunak sedalam 20 m. Untuk mempertahankan jalan di atas elevasi banjir dan mempertimbangkan penurunan regional di masa yang akan datang, perkerasan jalan harus mempunyai elevasi 4 m di atas elevasi tanah asli.

Pengalaman menunjukkan bahwa kegagalan akan terjadi jika dipaksakan untuk membangun timbunan setinggi 4 m tanpa perlakuan khusus. Dua pilihan dipertimbangkan untuk membangun jalan tersebut:

Struktur dengan fondasi tiang, dengan biaya Rp 20 Miliar per kilometer, tentu saja akan memberikan solusi yang memuaskan secara teknis

Konstruksi bertahap menggunakan penyalir vertikal untuk mempercepat konsolidasi, dengan biaya sekitar Rp 11 Miliar per kilometer, tetapi dengan pertanyaan yang belum bisa dijawab mengenai waktu yang diperlukan untuk tiap tahap dan program pelaksanaannya.

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk memperkirakan 80% kemungkinan bahwa solusi konstruksi bertahap bisa diselesaikan dalam waktu dua tahun yang merupakan batas waktu maksimum yang bisa diterima proyek.

Uji coba dengan skala penuh dengan instrumentasi dengan pilihan penyalir vertikal membutuhkan biaya Rp 1 miliar. Jika waktu memang memungkinkan untuk melaksanakan uji coba, maka jelas bahwa secara ekonomis sangat menarik untuk dilakukan uji coba karena pengeluaran sebesar Rp 1 miliar akan memberikan kemungkinan 80% penghematan dari Rp 36 miliar untuk jalan sepanjang empat kilometer. Jika waktu tidak memungkinkan untuk melaksanakan uji coba menurut program proyek yang ada, maka Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus bisa menunjukkan penghematan biaya dan penurunan resiko yang dapat diperoleh, jika proyek dijadwal ulang untuk memungkinkan dilaksanakannya uji coba tsb.

## 12

## Kontrak dan Pelaksanan

### 12.1

### PENGADAAN KONTRAK

Ahli Geoteknik yang ditunjuk akan diminta untuk memeriksa semua gambar tender dan spesifikasi yang berisi pekerjaan geoteknik, dan menyiapkan lembar catatan sehingga memenuhi persyaratan desain geoteknik.

Prakualifikasi kontraktor merupakan suatu keharusan untuk solusi yang khas. Prakualifikasi konsultan supervisi juga diperlukan, sementara berkenaan dengan spesifikasi, pihak produsen biasanya menyediakan bantuan keahlian khusus dalam hal supervisi pelaksanaannya.

Jika penyerahan tender meliputi usulan alternatif pelaksanaan atau pernyataan metoda pelaksanaan yang berkaitan dengan pekerjaan geoteknik, maka Ahli Geoteknik yang ditunjuk harus mempelajarinya dan mempersiapkan suatu laporan untuk Panitia Evaluasi Tender.

### 12.2

### PELAKSANAAN

Kualitas adalah faktor yang terpenting dalam pelaksanaan. Kegagalan untuk mematuhi spesifikasi merupakan penyebab banyak kegagalan jalan di Indonesia dibandingkan penyebab lainnya. Oleh karena itu penting bagi perencana untuk memberikan spesifikasi, yang lengkap. Jika pekerjaan pelaksanaan tidak tercakup dalam spesifikasi umum, maka spesifikasi bahan yang lengkap, metodologi pelaksanaan dan kualitas hasil pekerjaan harus diberikan.

Untuk material tertentu, pihak produsen akan memberikan spesifikasi yang lengkap dan metodologi pelaksanaannya. Dan ini harus dimasukkan ke dalam dokumen kontrak dan diperiksa apakah tidak ada yang bertentangan dengan spesifikasi umum.

Sistem pengendalian mutu harus ditetapkan dan diimplementasikan. Jika terdapat persyaratan khusus yang akan mempengaruhi metode pelaksanaan atau memerlukan masa tenggang dalam pekerjaan, hal ini harus diklarifikasi pada tahap tender, agar kontraktor dapat memasukkannya ke dalam harga penawaran dan program pelaksanaannya.

Metode pelaksanaan yang diberikan kontraktor harus menyebutkan peralatan yang akan digunakan. Harus diyakinkan bahwa peralatan tersebut sesuai untuk

pekerjaan di atas tanah lunak. Kemungkinan bahwa spesifikasi untuk pemadatan timbunan, tidak bisa dicapai pada lapisan timbunan awal yang memerlukan lapisan yang cukup tebal untuk mendukung peralatan. Dengan syarat lapisan timbunan bagian atas yaitu sekitar 1,5 m harus dipadatkan dengan mengikuti spesifikasi. Hal ini tidak berarti bahwa usaha untuk memadatkan lapisan bagian bawah tidak perlu dilakukan. Hal ini harus diklarifikasi pada waktu penjelasan pra-kontrak.

Kecuali pada proyek yang besar, pengawasan biasanya dilaksanakan oleh Ahli Jalan Raya dengan petunjuk teknis dari Ahli Geoteknik yang Ditunjuk sesuai kebutuhan. Jika teknik-teknik khusus tertentu diperlukan atau material spesifik yang digunakan, Ahli geoteknik yang Ditunjuk harus menyiapkan prosedur untuk pengendalian mutunya.

Pembersihan lahan: pada umumnya, jika lahan tertutup tumbuh-tumbuhan, akan lebih efektif untuk tidak membersihkan dan membuang lapisan permukaan. Akar-akar akan memberikan perkuatan sehingga lebih memudahkan dalam pelaksanaan. Lebih baik memotong atau membiarkan tumbuh-tumbuhan untuk memberikan suatu pembatas antara tanah asli dan timbunan. Ini memiliki pengaruh yang sama seperti semak belukar yang digunakan pada masa lalu di daerah beriklim sedang.

Penumpukan material pada alinyemen timbunan tidak diperbolehkan, karena hal ini akan menyebabkan terjadinya perbedaan penurunan pada lapisan gambut atau menimbulkan keruntuhan geser pada lapisan tanah inorganik. Demikian pula pada jalan sementara, baik melintang ataupun sepanjang alinyemen harus dihindarkan.

Hal tertentu yang harus diselesaikan pada solusi desain pada Bab 2 dan 3 telah dijelaskan pada Bab 6, dan dalam hal ini perlu diperhitungkan persyaratan pelaksanaan dalam desain.

Masalah utama yang dihadapi seorang ahli dalam membangun timbunan jalan di atas tanah lunak adalah adanya ketidakpastian dalam kaitannya dengan metode analisis maupun parameter tanah yang dipilih, terutama bila menghadapi tanah gambut. Ahli Geoteknik yang Ditunjuk mempunyai pilihan, yaitu apakah mengadopsi suatu desain yang konservatif yang selanjutnya akan mengakibatkan biaya konstruksi yang tinggi, atau mengadopsi solusi yang lebih murah tetapi dengan mengambil resiko.

Resiko akan muncul karena penurunan dan stabilitas timbunan berdasarkan pengetahuan pada saat ini masih sangat sulit untuk diprediksi secara akurat, oleh karenanya pemantauan dan instrumentasi selama pelaksanaan diperlukan kecuali pada metode penggantian total atau fondasi tiang. Untuk solusi-solusi lainnya, terutama untuk penggalian sebagian, penambahan beban, konstruksi bertahap dan penyalir vertikal, instrumentasi harus diadakan untuk mengamati proses konsolidasi dan untuk menentukan apakah timbunan tersebut stabil.

Instrumentasi diperlukan untuk alasan sebagai berikut:

- memberikan data untuk pengukuran volume pekerjaan,,
- mengontrol prosedur atau skedul pelaksanaan,
- jika ketidakpastian desain besar dan faktor keamanan kecil,
- untuk pelaksanaan timbunan percobaan,
- untuk mengevaluasi apakah metode solusi yang diadopsi efektif,
- untuk meningkatkan pengetahuan pada saat ini.

Penjelasan singkat mengenai jenis-jenis instrumen yang ada diberikan pada Lampiran G. Informasi lebih lanjut bisa dilihat di Dunnycliff (1988) dan Hanna (1973).

### 13.1

## MERENCANAKAN PROGRAM PEMANTAUAN DAN INSTRUMENTASI

Program pemantauan harus direncanakan terdahulu dan melalui serangkaian langkah-langkah untuk meyakinkan bahwa tujuan tersebut akan dapat dicapai. Proses desain harus dapat mengidentifikasi perilaku timbunan yang mungkin dan parameter yang harus diamati.

## 13.2

### DESAIN TIMBUNAN

Ahli yang bertanggung jawab untuk merencanakan program pemantauan harus mengenal berbagai aspek proyek, termasuk jenis proyek, tata letak desain timbunan, status bangunan disekitarnya, dan metode pelaksanaan yang direncanakan.

## 13.3

### KONDISI LAPISAN BAWAH PERMUKAAN

Untuk perencanaan instrumentasi yang baik, Ahli Geoteknik yang Ditunjuk harus mengumpulkan hasil penyelidikan lapangan, termasuk stratigrafi bawah permukaan tanah, sifat-sifat teknis material bawah permukaan tanah, kondisi air, dan kondisi lingkungan. Profil memanjang harus digambar yang menyertakan alinyemen jalan vertikal yang direncanakan profil tanah memanjang. Beberapa profil melintang harus dipilih pada lokasi-lokasi kritis dan pada lokasi penyelidikan lapangan lengkap dilaksanakan.

## 13.4

### PRA ANALISIS

Sebelum membuat suatu program instrumentasi, satu atau lebih hipotesis harus dibuat/dikembangkan untuk memprediksi mekanisme yang kemungkinan dapat mengontrol perilaku. Timbunan di atas tanah lunak cenderung didominasi oleh sifat-sifat tanah lunak. Keruntuhan rotasi, atau keruntuhan fondasi mungkin saja terjadi. Atau beban timbunan bisa menyebabkan penurunan atau pengangkatan sebelum keruntuhan rotasi terjadi.

## 13.5

### JUMLAH INSTRUMENTASI

Jumlah dan kompleksitas instrumentasi akan bergantung pada kelas jalan, panjang daerah tanah lunak dan jenis masalah yang akan dihadapi. Jika tidak terdapat masalah stabilitas dan hanya masalah penurunan, instrumentasi hanya diperlukan untuk memantau penurunan. Jika uji coba timbunan disarankan sebagai bagian dari desain, maka akan diperlukan instrumentasi yang lebih ekstensif.

Jumlah, kualitas dan kompleksitas instrumentasi dibagi dalam Panduan Geoteknik ini menjadi empat kelas, seperti ditunjukkan pada Tabel 13-1.

Tabel 13-1 Kelas Instrumentasi untuk Timbunan Jalan

Kelas Instrumentasi	Tujuan	Tipe Instrumen
Kelas A	Kualitas tinggi dan instrumentasi lengkap untuk timbunan percobaan	Pelat penurunan Penanda penurunan Ekstensometer magnetis Inklinometer Pisometer Patok geser
Kelas B	Instrumentasi untuk timbunan tinggi seperti timbunan oprit, perbaikan tanah menggunakan penyalir vertikal, prabeban/penambahan beban lebih, konstruksi bertahap atau penimbunan terkontrol	Pelat penurunan Penanda penurunan Ekstensometer batang Pisometer Inklinometer Patok geser Alat pembaca sederhana
Kelas C	Instrumentasi untuk pekerjaan konstruksi normal	Pelat penurunan Penanda penurunan permukaan Pisometer Patok geser
Kelas D	Instrumentasi untuk memantau penurunan jangka panjang/pekerjaan rehabilitasi	Penanda penurunan permukaan

## 13.6

### LOKASI INSTRUMEN

Pemilihan lokasi instrumen harus sesuai dengan perilaku yang diprediksi dan metode analisis yang akan digunakan kemudian pada saat menginterpretasi data. Analisis elemen hingga dapat membantu dalam menentukan lokasi kritis dan orientasi instrumen, tetapi bukan merupakan hal yang esensial.

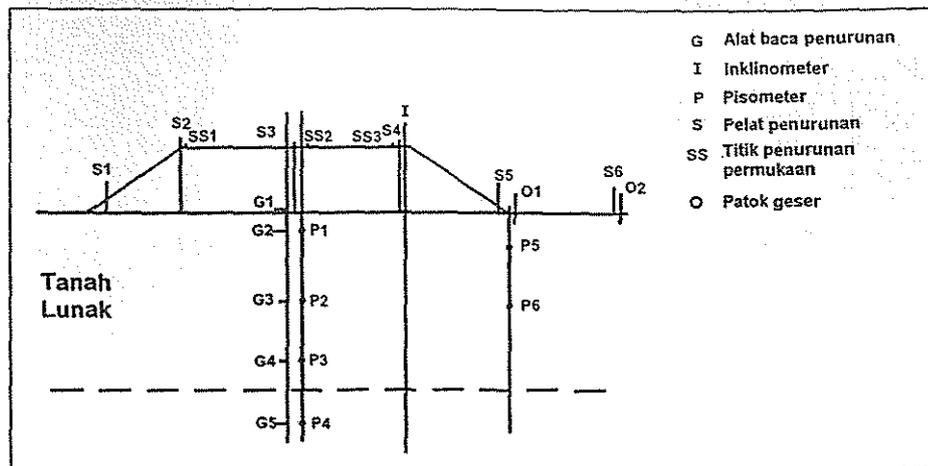
Langkah-langkah dalam menentukan lokasi instrumen sebagai berikut:

- pilih potongan melintang di mana perilaku yang diprediksi dianggap mewakili keseluruhan daerah tanah lunak. Instrumen utama harus ditempatkan pada potongan melintang ini. Potongan melintang dipilih pada lokasi kritis dan pada lokasi penyelidikan lapangan lengkap dilaksanakan, kalau tidak, penyelidikan lapangan tambahan harus dilakukan pada potongan melintang yang dipilih. Sedikitnya dua potongan yang dipasang instrumen utama harus direncanakan untuk daerah tanah lunak yang panjangnya lebih dari 500 m,
- pilih satu atau lebih potongan melintang sekunder. Potongan yang dipasang instrumen sekunder berfungsi berfungsi petunjuk perilaku pembanding dan untuk mendapatkan informasi volume timbunan. Instrumentasi pada potongan

melintang sekunder harus sederhana, yang dapat saja hanya terdiri dari pelat penurunan.

Pada seksi yang dipasang instrumen utama yang direncanakan, analisis harus dilakukan untuk memprediksi perilaku timbunan. Zona-zona yang memerlukan perhatian penuh harus diidentifikasi, seperti zona-zona lemah, zona-zona yang sarat terbebani atau zona-zona di mana tekanan pori yang tertinggi akan terjadi.

Suatu contoh diagram yang memperlihatkan lokasi instrumen berdasarkan perilaku yang diprediksi, ditunjukkan pada Gambar 13-1.



Gambar 13-1 Contoh Tata Letak Instrumentasi

## 13.7

## PEMASANGAN

Instrumen harus dipasang oleh suatu perusahaan/kontraktor Spesialis, kecuali untuk pemasangan instrumen yang sederhana seperti penanda penurunan permukaan, pelat penurunan, indikator bidang gelincir atau patok geser. Teknisi yang memasang instrumen harus telah berpengalaman dan mereka harus diawasi oleh seorang teknisi senior atau ahli dari pihak pemasok dan produsen. Pemasangan instrumen harus mengikuti hal-hal berikut:

- semua instrumen harus dipasang pada permukaan tanah asli sebelum pembebanan atau penimbunan dimulai,
- skedul, gambar dan rencana tata letak harus disiapkan dan dilaksanakan dengan tepat dan catatan harus dibuat jika ada penyimpangan dari rencana semula,
- semua instrumen harus diberi tanda dan nomer seri,
- selama pemasangan, suatu catatan harus dibuat dan bila sudah selesai, catatan pemasangan harus dibuat menjadi suatu laporan, yang akan menjadi informasi faktual definitif mengenai instrumentasi.

Selama pemasangan hal-hal berikut harus dicatat:

- nomer dan tipe instrumen,
- koordinat dari semua lokasi instrumen,
- elevasi dari instrumen yang terpasang,
- tanggal dan waktu pemasangan,
- penampang profil tanah yang dijumpai selama pemasangan jika instrumen dipasang di dalam lubang bor.

Contoh catatan pemasangan diperlihatkan pada Lampiran H.

Sebelum aktivitas pelaksanaan dimulai, yang mungkin akan mempengaruhi instrumen, pembacaan awal harus sering dilakukan selama sekurangnya-kurangnya 2 minggu atau sampai semua pembacaan telah stabil. Minimum empat rangkaian pembacaan harus diperoleh.

## 13.8

### PERLINDUNGAN

Selama pemasangan dan pelaksanaan penimbunan, semua instrumen yang dipasang harus dilindungi terhadap lalu lintas kendaraan dan alat berat; setelah selesai pemasangan atau penimbunan, instrumen harus dilindungi dengan suatu pelindung yang tidak mudah dirusak/dicuri, untuk menjamin bahwa semua instrumen tidak rusak dan bekerja dengan baik.

Tindakan pengamanan khusus harus dilakukan terhadap instrumen yang terpasang sampai menonjol di permukaan tanah yang dapat rusak akibat aktivitas konstruksi. Selongsong inklinometer, ekstensometer ukur, batang pelat penurunan membutuhkan penghalang untuk melindunginya dan harus diberi tanda atau dicat dengan jelas untuk memberi peringatan kepada operator peralatan konstruksi.

Pencurian dan pengrusakan sering merupakan masalah utama. Bila hal ini menjadi masalah, semua terminal harus dikubur dan dibuat tidak menonjol, karena kotak pelindung yang mencolok sering mengundang terjadinya suatu pengrusakan.

Semua pipa vertikal harus diberi tutup untuk mencegah masuknya kotoran. Jika kegiatan konstruksi mungkin dapat merusak ujung dari pipa vertikal, atau orang iseng mungkin memasukkan sesuatu sehingga dapat menyumbat pipa, maka sumbat yang bisa dilepas harus dipasang pada kedalaman tertentu.

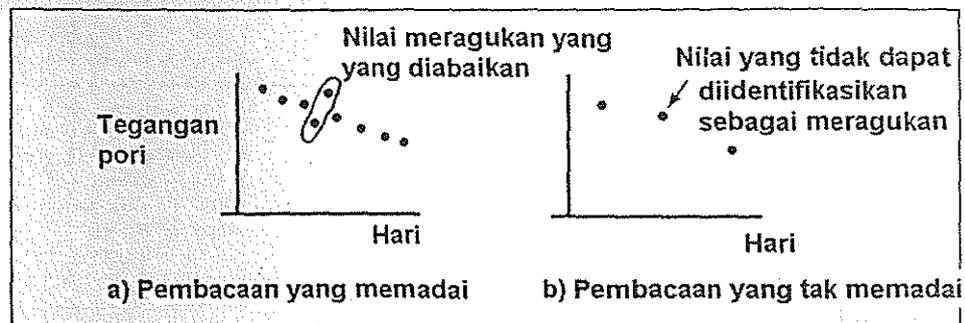
## 13.9

### PROSEDUR DAN FREKUENSI PEMANTAUAN

Frekuensi pemantauan harus ditentukan oleh Ahli Geoteknik yang Ditunjuk. Satu-satunya prosedur yang memuaskan adalah dengan menetapkan

pembacaan sesering mungkin pada permulaan, dan kemudian mengkaji data tersebut untuk memungkinkan frekuensi pembacaan dikurangi.

Frekuensi pembacaan harus cukup rapat sehingga pembacaan yang salah dapat diidentifikasi seperti terlihat pada Gambar 13-2.



Gambar 13-2 Frekuensi Pembacaan Instrumen

Semua pembacaan harus diperiksa, lebih baik tiap hari tetapi sekurang-kurangnya tiap minggu untuk menjamin bahwa pembacaan sudah cukup memadai dan tidak ada masalah yang timbul dengan data yang didapat. Jika pembacaan mulai menyimpang dari perilaku yang diharapkan, tindakan pertama yang harus dilakukan adalah memeriksa apakah pembacaan telah dilakukan menurut prosedur yang sesuai, kemudian memeriksa peralatan dan mengkalibrasinya jika perlu. Setelah itu baru dicari penjelasan lainnya yang berkenaan dengan variasi yang terjadi.

Harus dipastikan bahwa pembacaan instrumen telah dikoordinasikan dengan skedul pelaksanaan penimbunan.

Prosedur pemantauan harus dijabarkan secara tertulis. Contoh dari suatu kontrak instrumentasi disertakan dalam CD Panduan Geoteknik.

## 13.10

## CATATAN PENIMBUNAN

Timbunan jalan biasanya dilaksanakan lapis per lapis setebal 20 sampai 30 cm. Kemajuan penimbunan harus dicatat, yaitu tanggal mulai penimbunan dan tanggal selesai untuk setiap lapisannya.

Karena timbunan tidak mungkin turun secara seragam, pencatatan tebal lapisan hamparan saja tidak cukup memadai untuk mengetahui tinggi timbunan yang sudah dilaksanakan. Oleh karena itu, setiap saat pelat penurunan diukur, ketinggian titik pengukuran di atas timbunan juga harus dicatat.

## 13.11

### PELAT PENURUNAN

Elevasi dari dasar pelat dan ujung batang harus dicatat sebagai bacaan awal. Elevasi awal ujung batang harus direvisi saat batang diperpanjang. Pembacaan pelat penurunan dilakukan pada saat selesainya setiap lapisan timbunan atau diambil tiap minggu atau setiap 3 hari jika perlu.

Pelat penurunan harus dipasang sebelum penimbunan dilaksanakan, dan agar pelat tidak bergerak sewaktu ditimbun maka dasar pelat harus diratakan dengan pasir. Yang umumnya menjadi masalah adalah di daerah banjir atau persawahan, dimana lapisan lumpur yang sangat lunak menutupi permukaan tanah yang akan menyembul keluar dari bawah pelat dan memberikan kesan adanya penurunan dini.

Pameraan data harus segera dilakukan dan ditinjau secepatnya begitu diperoleh. Jika nilai yang ada berubah dengan cepat, maka frekuensi pembacaan harus ditingkatkan. Jika nilai tidak konsisten dengan rangkaian pembacaan sebelumnya, maka pengukuran harus diulangi.

## 13.12

### INSTRUMENTASI KHUSUS

Petunjuk mengenai keuntungan dan kerugian berbagai jenis instrumentasi, diberikan pada Lampiran G bersamaan dengan gambar skematik beberapa instrumen yang bisa dibuat secara lokal di bengkel yang kompeten.

Suatu bibliografi sekitar sembilan ratus referensi dipersiapkan sebagai bagian dari proyek IGMC2 dan dimasukkan pada CD Panduan Geoteknik ini.

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

Anon (1982), *Guide to Retaining Wall Design*, Geotechnical Control Office, Hong Kong.

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.

BS8006: 1995, *Code of practice for Strengthened/reinforced soils and other fills*, BSI, 1995.

Choa V (1985), *Preloading and Vertical Drains*, 3rd International Geotechnical Seminar on Soil Improvement Methods, Singapore, pp87-99.

De Beer E E & Wallays M (1972), *Forces Induced in Piles by Unsymmetrical Surcharges on The Soil Around the Piles*, Proceedings 5th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, pp325-352.

DGH (1992), *Bridge Design Manual (Draft)*, Directorate General of Highways, Ministry of Public Works, Indonesia.

Edil T B & Bosscher P J (1994), *Engineering Properties of Tire Chips and Soil Mixtures*, Geotechnical Testing Journal, 7,4, December.

Exxon (1989), *Designing for Soil Reinforcement*, Exxon Chemical GeoPolymers Ltd.

Hanrahan E T & Rogers M G (1981), *Road on Peat: Observations and Design*, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107, GT10, October, pp1403-1415.

Hanna T H (1973), *Foundation Instrumentation*, Transtech Publications.

Hiroo (2000), *Program for Shallow Stabilization Techniques on Soft Ground*, 2nd Seminar on Ground Improvement, Jakarta.

Jewell R A (1996), *Soil Reinforcement with Geotextiles*: Special Publication 123, CIRIA.

Miki H (1999), *Cooperative Research on Soft Ground Improvement in Thailand*, Seminar on Ground Improvement, Jakarta.

Moretti I & Cutruzzola B (1991), *Specifications and Standards for Unbound Aggregates and Their Use in Italy*, in *Unbound Aggregates in Roads*, Jones R H & Dawson A R (eds), Butterworths.

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

Nicholls R A & Barry A J (1983), *Vertical Drains - A Case History*, 8th European Conference on Soil Mechanics & Foundation Engineering, Helsinki, pp663-668.

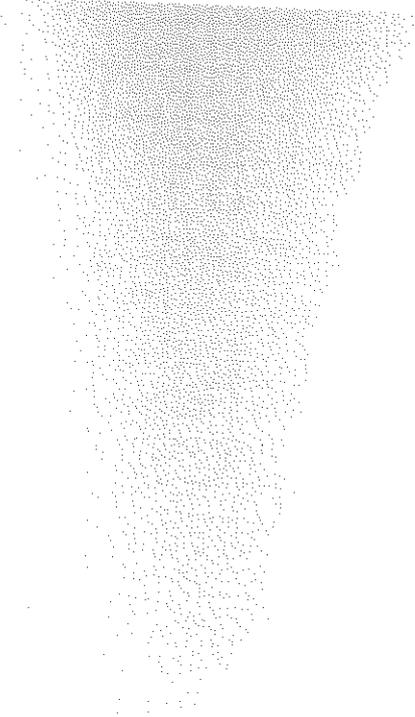
Nicholls R A, Barry A J & Shoji H (1984), *Deep Vertical Drain Installation*, *Ground Engineering*, May, pp31-35.

Rahardjo P P, Meilinda L & Yuniati L (2000), *Evaluasi Hasil Monitoring Instrumentasi Geoteknik pada Reklamasi Terminal Semen di Atas Tanah Lunak di Semarang*, Prosiding Pertemuan Tahunan IV, INDO-GEO 2000 HATTI, ppIII-1 – III-7.

Stewart D P, Jewell R J & Randolph M F (1994), *Centrifuge Modelling of Piled Bridge Abutments on Soft Ground*, *Soils and Foundations*, 34, pp41-51.

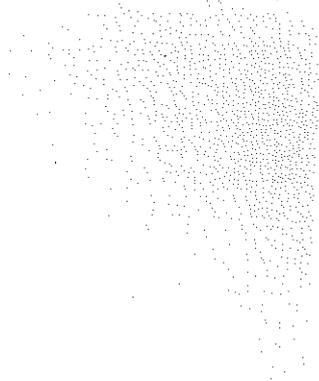
Toh C T, Chua S K, Chee S K, Yeo S C & Chock E T (1990), *Peat Replacement Trial at Machap*, Seminar on Geotechnical Aspects of the North South Highway, Kuala Lumpur, pp207-218.

Tri Indijono (1999), *Performance of Various Types of Vertical Drains on Consolidation Behaviour of Soft Soils at Trial Embankment for Surabaya Eastern Ring Road*, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.



# Lampiran A

## Ceklis



	Tanggal
Penunjukkan Ahli Geoteknik	<input type="text"/>
Laporan Studi Meja	<input type="text"/>
Peninjauan Lapangan	<input type="text"/>
Desain Penyelidikan Lapangan	<input type="text"/>
Pengadaan Penyelidikan Lapangan	<input type="text"/>
Pekerjaan Lapangan Selesai	<input type="text"/>
Pengujian Laboratorium Selesai	<input type="text"/>
Laporan Penyelidikan Tanah Disetujui	<input type="text"/>
Desain Dimulai	<input type="text"/>
Draf Laporan Desain Diserahkan	<input type="text"/>
Laporan Desain Akhir Diserahkan	<input type="text"/>

Keterangan

Tanda tangan \_\_\_\_\_ Nama \_\_\_\_\_  
 Ahli Geoteknik yang Ditunjuk Tanggal \_\_\_\_\_

Ceklis A1 Kronologi Desain dan Penyelidikan Geoteknik/Ceklis Serah Terima

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Menggunakan peralatan pekerjaan tanah standar		
Penggantian keseluruhan dapat menyelesaikan masalah stabilitas dan penurunan		
Penggantian keseluruhan memungkinkan dilakukan inspeksi dan kemungkinan desain yang tidak memadai risikonya sangat kecil		
Penggantian sebagian bisa digabungkan dengan penambahan beban		
<b>Kerugian</b>		
Memerlukan bahan timbunan yang berkualitas tinggi, jika galian tidak dikeringkan		
Memerlukan tempat pembuangan bahan galian bermutu rendah		
Mempengaruhi drainase bawah tanah alami		
Penggalian bisa menyebabkan kerusakan terhadap jalan lama dan bangunan di dekatnya		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A2 Keuntungan dan Kerugian Penggantian Penuh dan Sebagian

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Menggunakan peralatan pekerjaan tanah standar		
Bisa dikombinasikan dengan solusi lain		
<b>Kerugian</b>		
Mebutuhkan lahan tambahan		
Mebutuhkan bahan timbunan tambahan		
Tidak menyelesaikan masalah penurunan jangka panjang		
Memperbesar penurunan total		
Pencurian bahan timbunan dapat terjadi		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A3 Keuntungan dan Kerugian Berem Pratibobot.

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Menggunakan peralatan pekerjaan tanah standar		
Efektif tidaknya dapat dipantau secara sederhana		
<b>Kerugian</b>		
Tambahan timbunan harus dipindahkan kembali setelah selesai pembebanan		
Meningkatkan masalah kestabilan		
Waktu yang diperlukan sulit diprediksi sehingga dapat memperlambat pelaksanaan		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A4 Keuntungan dan Kerugian Penambahan Beban

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Menggunakan peralatan pekerjaan tanah standar		
Efektifitas dapat dipantau		
<b>Kerugian</b>		
Waktu yang diperlukan sulit diprediksi sehingga bisa memperlambat waktu pelaksanaan		
Mebutuhkan pemantauan lengkap		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A5 Keuntungan dan Kerugian Konstruksi Bertahap

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Mengatasi masalah stabilitas maupun penurunan		
Dapat dikombinasikan dengan metode lain		
<b>Kerugian</b>		
Dibutuhkan Kontraktor Spesialis		
Kesulitan untuk memprediksi kenaikan kuat geser secara akurat sehingga dapat memperlambat waktu pelaksanaan		
Mebutuhkan pemantauan lengkap		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A6 Keuntungan dan Kerugian Penyalir Vertikal

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Tidak diperlukan keahlian khusus untuk pelaksanaan		
Geotekstil mudah diperoleh		
<b>Kerugian</b>		
Tidak mengurangi penurunan		
Sulit menjamin bahan yang digunakan sesuai spesifikasi		
Memerlukan perlindungan dari sinar matahari dan dari bahan kimia tertentu		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A7 Keuntungan dan Kerugian Perkuatan dengan Geotekstil

	Relevan?	Catatan
<b>Keuntungan</b>		
Mengatasi masalah penurunan dan stabilitas		
Menghilangkan gaya horisontal terhadap abutmen jembatan dan fondasinya		
<b>Kerugian</b>		
Pemancangan tiang dapat mempengaruhi struktur yang ada		
Bahan matras harus berkualitas tinggi		

Keterangan

Tanda tangan

Nama

Ahli Geoteknik yang Ditunjuk

Tanggal

Ceklis A8 Keuntungan dan Kerugian Matras Bertiang

<b>Proyek</b>	
<b>Ceklis Zonasi Lokasi</b>	
Penentuan Unit Tanah	<input type="checkbox"/>
Alinyemen Vertikal	<input type="checkbox"/>
Jembatan	<input type="checkbox"/>
Gorong-gorong	<input type="checkbox"/>
Bangunan Penahan Tanah	<input type="checkbox"/>
Elevasi Tanah Asli	<input type="checkbox"/>
<b>Keterangan</b>	
Tanda tangan	Nama
Ahli Geoteknik yang Ditunjuk	Tanggal

Ceklis A9 Zonasi Lokasi

## Lampiran B

# Korelasi Parameter Geoteknik

## B.1

## UMUM

Penentuan langsung parameter kuat geser dan kompresibilitas di laboratorium biayanya akan mahal dan memakan waktu. Dengan alasan ini, Ahli Geoteknik sering menggunakan korelasi yang telah dikembangkan antara beberapa parameter dengan sifat-sifat indeks yang lebih mudah ditentukan seperti batas-batas Atterberg, kadar air asli dan berat isi. Korelasi bisa digunakan untuk mendapatkan parameter desain atau untuk membatasi jumlah pengujian yang lebih rumit dan mahal; sebagaimana dibahas dalam Panduan Geoteknik 3, korelasi dapat pula digunakan untuk keperluan pengendalian mutu.

Sejumlah korelasi diberikan dalam CUR (1996) dan beberapa dari korelasi ini dibahas berikut ini. CUR mengingatkan terhadap batasan penggunaan korelasi dan menekankan bahwa penggunaan yang tidak tepat dapat memberikan "asumsi-asumsi desain yang salah."

## B.2

# PENENTUAN PARAMETER KUAT GESER DARI KORELASI

### B.2.1

## PARAMETER KUAT GESER DARI BATAS ATTERBERG

Kuat geser tak terdrainase dari tanah lempung telah dikorelasikan oleh banyak peneliti sebagaimana dengan tekanan (overburden) dan batas Atterberg. Hasil bagi  $c_u / \sigma_i'$  (dijelaskan di bawah) sering ditemui pada korelasi ini.

Korelasi berikut dilaporkan oleh CUR beserta referensinya secara rinci.

- Untuk lempung terkonsolidasi normal, dengan indeks plastisitas *lebih besar dari 5%*, Skempton memberikan suatu hubungan:

$$\frac{c_u}{\sigma_i'} = 0.11 + 0.0037PI$$

dengan:

$c_u$  adalah kuat geser tak terdrainase (kPa);

$\sigma_i'$  adalah tegangan efektif (vertikal) awal (kPa);

$PI$  adalah indeks plastisitas (%).

Hubungan ini telah diuji oleh banyak peneliti selama bertahun-tahun dan nilai yang didapat tidak pernah lebih dari sekitar  $\pm 20\%$  dari rata-rata.

- Parameter ini telah juga dikorelasikan oleh Bjerrum dan Simon dalam bentuk:

$$\frac{c_u}{\sigma_i'} = 0.045 \sqrt{PI}$$

Sebaran nilai-nilai yang didapat berkisar  $\pm 25\%$  dari harga rata-rata.

- Batas cair digunakan oleh Karlsson dan Viberg pada korelasi berikut ini, yang berlaku untuk tanah lempung dengan batas cair *lebih besar dari 20%*:

$$\frac{c_u}{\sigma_i'} = 0.005 LL$$

dengan:

$LL$  adalah batas cair (%).

Sebaran nilai-nilai yang didapat berkisar  $\pm 30\%$  dari harga rata-rata.

- Suatu korelasi antara sudut geser dalam efektif ( $\phi'$ ) dan indeks plastisitas ( $PI$ ) diperlihatkan CUR dalam bentuk grafik. Grafik menunjukkan nilai  $\phi'$  rendah bila nilai  $PI$  relatif tinggi.

## B.2.2

### PARAMETER KUAT GESER BERDASARKAN KONSISTENSI TANAH

Parameter yang digunakan untuk menunjukkan konsistensi tanah adalah indeks cair ( $LI$ ) dan indeks konsistensi ( $CI$ ) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$LI = \frac{w - PL}{LL - PL}, \quad CI = 1 - LI = \frac{LL - w}{LL - PL}$$

dengan:

$w$  adalah kadar air;

$LL$  adalah batas cair;

$PL$  adalah batas plastik.

- Untuk lempung dengan indeks cair lebih besar dari 0,5, Bjerrum dan Simons mengembangkan korelasi berikut:

$$\frac{c_u}{\sigma_i'} = \frac{0.18}{\sqrt{LI}}$$

dengan:

$c_u$  dan  $\sigma_i'$  seperti dijelaskan diatas.

- Suatu korelasi antara kuat geser tak terdrainase dan indeks konsistensi ( $CI$ ) yang dikembangkan oleh Wroth dan Wood diperlihatkan dalam bentuk grafik semi-logaritmik pada Gambar B1. Sistem klasifikasi Jerman DIN menghubungkan deskripsi konsistensi tanah (cair, lumpur, lunak dan sebagainya) dengan indeks konsistensi ( $CI$ ) seperti ditunjukkan pada bagian atas Gambar B1. Dengan mengkorelasikan Sistem DIN dengan suatu hubungan yang dikembangkan oleh Wroth dan Wood, jelas terlihat bahwa pada kadar air yang dekat dengan batas cairnya ( $CI$  mendekati nol), kuat geser tanah berkisar antara 1,5-2,0 kPa; pada kadar air yang dekat dengan batas plastis ( $CI$  mendekati satu), kuat geser sekitar 100 kali lebih tinggi.

Konsistensi tanah seperti diklasifikasikan dalam sistem yang lain (sisi sebelah kiri Gambar B1), juga dikorelasikan dengan kuat geser tak terdrainase.

## B.3

# PENENTUAN PARAMETER DEFORMASI DARI KORELASI

### B.3.1

## PARAMETER DEFORMASI BERDASARKAN BATAS ATTERBERG

Indeks kompresi primer  $C_c$  didefinisikan dengan hubungan:

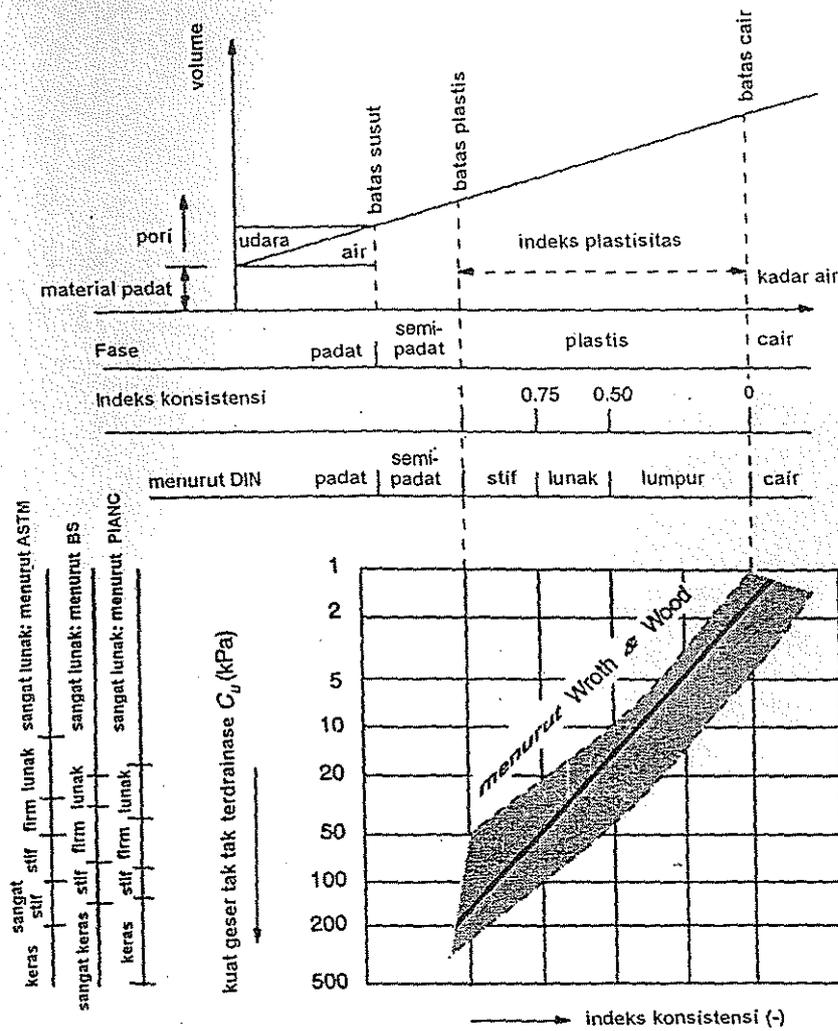
$$C_c = \frac{\Delta e_m}{\log \frac{\sigma_{i'} + \Delta \sigma'}{\sigma_{i'}}$$

dengan:

$\Delta e_m$  adalah reduksi angka pori pada pemampatan asli;

$\sigma_{i'}$  adalah tegangan efektif awal (kPa);

$\Delta \sigma'$  adalah kenaikan tegangan efektif (kPa).



Gambar B1 Hubungan antara Kuat Geser Tak Terdrainase dan Indeks Konsistensi

Korelasi berikut telah dikembangkan oleh berbagai peneliti untuk penentuan indeks kompresi (pemampatan) primer untuk lempung tak terganggu ( $C_c$ ) dan terganggu ( $C_c'$ ):

- Untuk lempung terganggu (remasan), Skempton menyarankan hubungan berikut ini:

$$C_c' = 0.007 (LL - 7)$$

dengan:

$LL$  adalah batas cair (%).

- Schofield dan Wroth mengusulkan pemampatan lempung remasan ditentukan oleh hubungan:

$$C_c = \frac{PI}{2} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 1.325PI$$

dengan:

$PI$  adalah indeks plastisitas (%);

$\gamma_s$  adalah berat isi partikel tanah ( $\approx 26,5 \text{ kN/m}^3$ );

$\gamma_w$  adalah berat isi air ( $\approx 10 \text{ kN/m}^3$ ).

- Untuk lempung tak terganggu konsolidasi normal, hubungan yang diusulkan oleh Terzaghi dan Peck adalah:

$$C_c = 0.009(LL - 10)$$

dengan:

$LL$  adalah batas cair (%).

## B.3.2 PARAMETER DEFORMASI YANG DITENTUKAN DARI BERAT ISI DAN KADAR AIR

### B.3.2.1 Indeks Kompresi Primer, $C_c$

Banyak peneliti telah mendapatkan korelasi yang kuat antara indeks pemampatan primer,  $C_c$  dan berat isi seperti tercerminkan pada angka pori awal  $e_0$ . Untuk material yang sepenuhnya jenuh dengan berat isi padat diketahui,  $C_c$  bisa selanjutnya dikorelasikan dengan kadar airnya.

Korelasi yang sudah dikenal baik dan paling sering digunakan, disajikan di bawah ini.

- Nishida menurunkan secara teoritis korelasi berikut ini untuk semua jenis lempung :

$$C_c = 0.54(e_0 - 0.35)$$

- Berdasarkan kurang lebih 700 tanah lempung dari Amerika Serikat dan Yunani, korelasi-korelasi yang diusulkan oleh Azzouz adalah sebagai berikut:

$$C_c = 0.4(e_0 - 0.25)$$

atau

$$C_c = 0.01(w - 5)$$

- Untuk tanah kohesif, inorganik, lanau dengan lempung, lempung kelanauan dan lempung korelasi berikut disarankan oleh Hough:

$$C_c = 0.4049(e_0 - 0.3216)$$

atau

$$C_c = 0.0102(w - 9.15)$$

- Korelasi yang diturunkan oleh Rendon-Herrero untuk 94 lempung Amerika adalah:

$$C_c = 0.30(e_0 - 0.27)$$

- Untuk 130 lempung aluvial dan lanau dari Bangladesh korelasi berikut diusulkan oleh Serajuddin:

$$C_c = 0.01(w - 7.548)$$

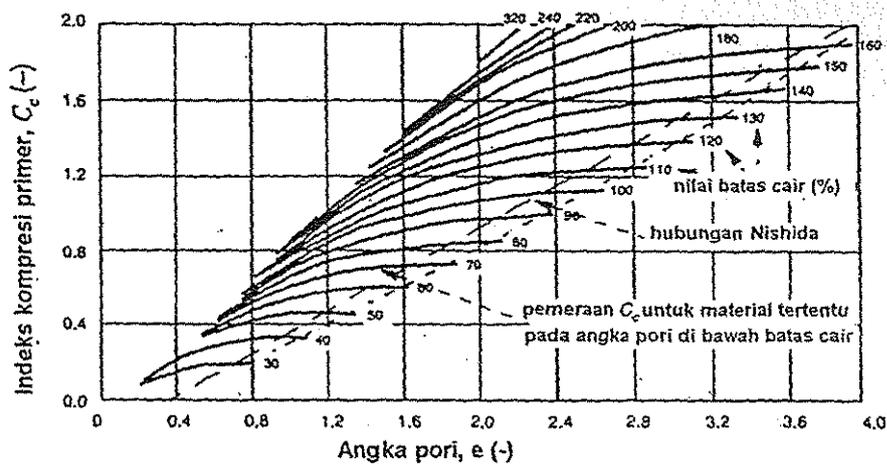
Simbol-simbol yang digunakan pada korelasi di atas dijelaskan sebagai berikut:

$C_c$  adalah indeks pemampatan primer;

$e_0$  adalah angka pori pada permulaan pemampatan;

$w$  adalah kadar air pada permulaan pemampatan (%).

Kurva yang diperlihatkan pada Gambar B2 diturunkan dari formula Nishida dan bisa digunakan untuk menurunkan  $C_c$  dari batas cair dan angka pori awal. Setiap kurva mewakili hubungan untuk jenis lempung tertentu dengan batas cair yang diketahui untuk angka-angka pori di bawah batas cair.



Gambar B2 Hubungan antara Pemampatan Primer dan Angka Pori sebagai Suatu Fungsi Batas Cair

### B.3.2.2

### Rasio Pemampatan, CR

Rasio pemampatan (CR) didefinisikan dengan hubungan berikut:

$$CR = \frac{\frac{\Delta h_p}{h}}{\log \frac{\sigma'_i + \Delta \sigma'}{\sigma'_i}}$$

dengan

$\Delta h_p$  adalah penurunan primer akibat perubahan tegangan  $\Delta \sigma'$ ;

Karena tidak ada deformasi lateral, perubahan angka pori dan penurunan adalah proporsional,

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

Merujuk ke definisi  $C_c$  pada Bagian A.3.1 dapat dilihat bahwa  $CR$  dan  $C_c$  mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$CR = \frac{C_c}{1 + e_0}$$

dengan:

$e_0$  adalah angka pori awal.

Rasio pemampatan  $CR$  dalam prakteknya cenderung bervariasi antara 0.2 dan 0.4. Korelasi yang telah dikembangkan untuk parameter ini adalah sebagai berikut:

- Untuk nilai  $e_0$  kurang dari 2, Krizek dan Pamalee mengembangkan korelasi berikut, berdasarkan 230 tanah lempung dari berbagai tempat:

$$CR = 0.156 e_0 + 0.0107$$

- Untuk nilai kadar air kurang dari 100%, Vidalie mengusulkan korelasi berikut untuk tanah lempung Perancis:

$$CR = 0.0039 w + 0.013$$

Dalam korelasi-korelasi yang diberikan di atas:

$e_0$  = angka pori pada permulaan pemampatan

$w$  = kadar air pada permulaan pemampatan (%)

### B.3.2.3

### Indeks Pengembangan, $C_s$ atau $C_{sw}$

$$C_{sw} = \frac{\Delta e_t}{\log \frac{\sigma'_j + \Delta \sigma'}{\sigma'_j}}$$

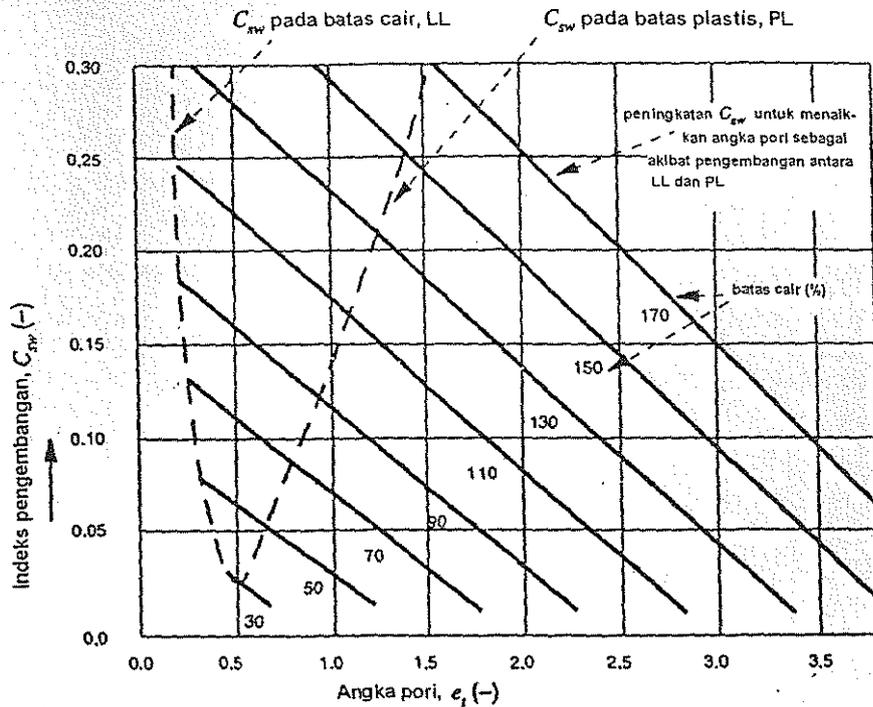
dengan:

$\Delta e_t$  adalah kenaikan angka pori selama pelepasan beban (*rebound*).

Indeks Pengembangan adalah tangen dari sudut yang dibentuk oleh garis singgung pada suatu titik pada kurva pelepasan beban dengan absis (sumbu  $\sigma'$ ).

Hubungan antara indeks pengembangan dan angka pori sebagai fungsi dari batas cair, diperlihatkan pada Gambar B3.

Jika setelah pelepasan beban, beban kembali diberikan, pemampatan ditentukan oleh indeks kompresi primer untuk pembebanan kembali (atau indeks rekompresi),  $C_r$ . Nilai  $C_r$  biasanya sama dengan atau lebih kecil dari  $C_{sw}$ .



Gambar B3 Hubungan antara Indeks Pengembangan dan Angka Pori sebagai Fungsi dari Batas Cair

#### B.3.2.4

#### Indeks Pemampatan Sekunder, $C_{\alpha}$

Indeks pemampatan sekunder menentukan pemampatan sekunder atau pemampatan atau konsolidasi jangka panjang yang biasanya diasumsikan dimulai segera setelah konsolidasi primer selesai. Indeks Pemampatan Sekunder didefinisikan sebagai kemiringan kurva angka pori atau regangan terhadap log waktu dari rentang pemampatan sekunder dari suatu pengujian odometer.

Nilai indeks lolos kurang dari 0,001 untuk lempung tekonsolidasi lebih, 0,005 sampai 0,02 untuk lempung terkonsolidasi normal dan 0,03 atau lebih besar untuk lempung sensitif dan tanah organik.

Dalam CUR,  $C_{\alpha}$  dikorelasikan dengan kadar air sebagai berikut:

$$C_{\alpha} = 0.0002w$$

dengan:

$w$  adalah kadar air (%).

Sumber yang dikutip oleh CUR untuk korelasi di atas adalah Manual Desain yang diterbitkan oleh *U.S. Dept. of the Navy* pada 1971.

Juga di CUR, hubungan antara  $C_\alpha$  dan  $w$  disajikan dalam bentuk grafik untuk pemampatan alami (hubungan rata-rata ditambah batas atas dan bawah) dan rekompresi (hanya batas atas); suatu zona untuk contoh tanah yang sepenuhnya terganggu juga diperlihatkan. Sumber untuk hubungan ini tidak diberikan. Hubungan rata-rata yang diindikasikan untuk kompresi alami konsisten dengan hubungan linear yang diberikan di atas sampai dengan kadar air sekitar 50%; di luar nilai ini, hubungan rata-rata bertambah pada laju yang semakin berkurang sehingga, sebagai contoh, pada kadar air 100%, nilai  $C_\alpha$  kurang lebih sebesar 0,016 (berlawanan dengan nilai 0,02 yang ditunjukkan oleh hubungan linear).

Menurut Terzaghi dkk. (1996), ada hubungan antara besarnya kompresibilitas ( $C_c$  dan  $C_\alpha$ ) terhadap tegangan efektif vertikal dan waktu. Untuk semua jenis tanah selama pemampatan sekunder, perbandingan  $C_\alpha/C_c$  selalu konstan, baik pada tahap kompresi maupun rekompresi. Angka perbandingan untuk material geoteknik diberikan di bawah. Untuk semua bahan, rentang total adalah 0,01 sampai 0,07; titik pertengahan dari rentang tersebut adalah juga nilai yang paling umum untuk lempung inorganik dan lanau.

<u>Bahan</u>	<u><math>C_\alpha / C_c</math></u>
Tanah berbutir termasuk timbunan batuan	$0.02 \pm 0.01$
Serpit dan batu lumpur ( <i>mud stone</i> )	$0.03 \pm 0.01$
Lempung inorganik dan lanau	$0.04 \pm 0.01$
Lempung organik dan lanau	$0.05 \pm 0.01$
Gambut dan muskeg	$0.06 \pm 0.01$

## B.4

# KORELASI YANG DIGUNAKAN UNTUK MENENTUKAN DERAJAT KONSOLIDASI DAN PERMEABILITAS

Koefisien konsolidasi vertikal  $c_v$  ( $m^2/det$ ) didefinisikan sebagai:

$$c_v = \frac{k_v}{m_v \gamma_w}$$

dengan:

$k_v$  adalah koefisien permeabilitas vertikal ( $m/det$ );

$\gamma_w$  adalah berat isi air ( $kN/m^3$ );

$m_v$  adalah koefisien vertikal dari kompresibilitas volume ( $m^2/kN$ ).

Jika dilakukan pemerataan untuk data pemampatan *pada skala linear*, kemiringan kurva  $e$  vs.  $\sigma'_v$  disebut sebagai koefisien kompresibilitas  $a_v$  yaitu  $a_v = \Delta e / \Delta \sigma'_v$ ; Jika pemerataan dilakukan dalam bentuk regangan vertikal, kemiringan dinyatakan sebagai koefisien kompresibilitas volume vertikal  $m_v$  yaitu

$$m_v = \frac{\epsilon_v}{\Delta \sigma'_v}$$

Kedua parameter ini mempunyai hubungan sebagai berikut:

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_o}$$

dengan:

$m_v$  adalah koefisien kompresibilitas volume vertikal ( $m^2/kN$ );

$a_v$  adalah koefisien kompresibilitas ( $m^2/kN$ );

$e_o$  adalah angka pori awal.

Parameter ini mempunyai hubungan dengan indeks kompresi primer sebagai berikut:

$$a_v = \frac{0.435 C_c}{\bar{\sigma}'_i}$$

$$m_v = \frac{0.435 C_c}{(1 + e_o) \bar{\sigma}'_i}$$

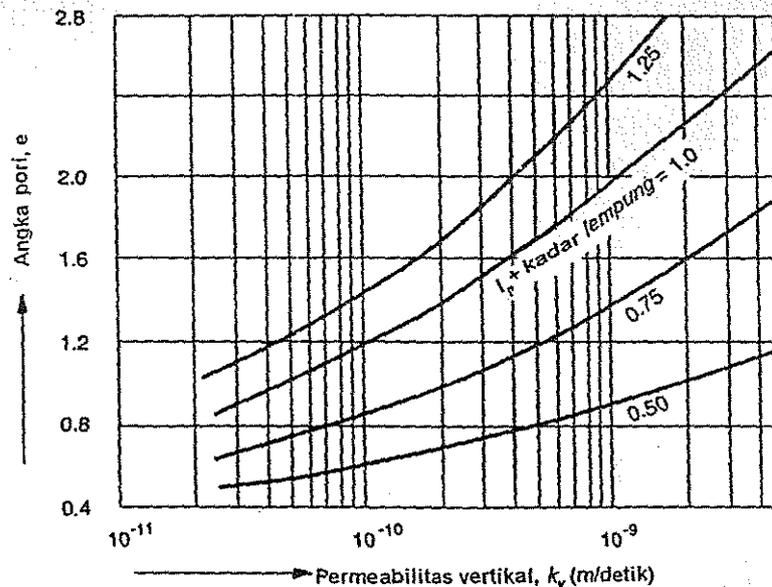
dengan:

$\bar{\sigma}'_i$  adalah tegangan efektif rata-rata sepanjang lintasan yang dipertimbangkan ( $kN/m^2$ ).

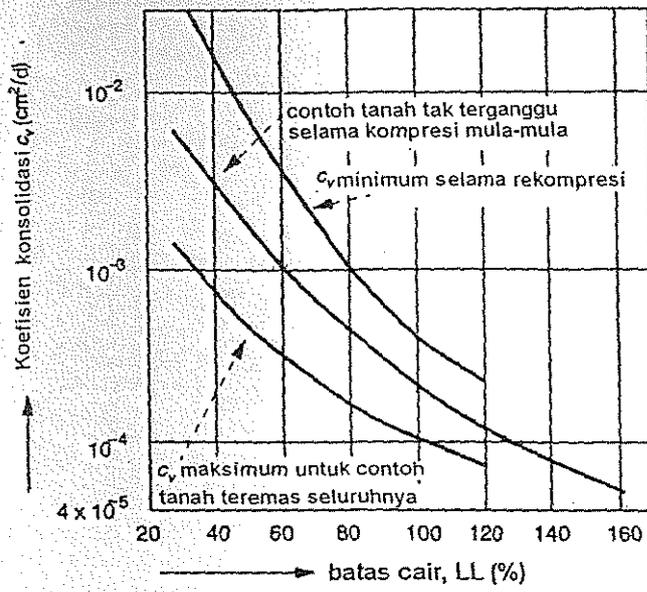
Dinyatakan dalam CUR bahwa, koefisien permeabilitas  $k_v$  dari tanah lempung nampaknya bergantung pada distribusi ukuran pori yang bergantung pada komposisi lempung, yaitu jenis lempung dan distribusi ukuran partikel. Walaupun menekankan bahwa penetapan nilai berdasarkan korelasi biasanya memberikan hasil yang tidak berkaitan dengan koefisien permeabilitas, CUR menyatakan sebagian dapat diterima sebagai pekerjaan awal. Hubungan antara angka pori dan koefisien permeabilitas vertikal, dengan variasi parameter indeks plastisitas dan kadar lempung (keduanya dinyatakan sebagai pecahan desimal), diperlihatkan pada Gambar B4.

Oleh karenanya, perkiraan koefisien konsolidasi  $c_v$  dapat diperoleh dengan menggunakan hubungan antara  $m_v$  dan  $C_c$  yang diberikan sebelumnya dan nilai  $k_v$  dari Gambar B4.

Koefisien konsolidasi  $c_v$  bisa juga diperkirakan secara langsung dari batas cair dengan menggunakan grafik yang diperlihatkan pada Gambar B5. Hubungan-hubungan pada Gambar B5 diambil dari *U.S. Dept. of the Navy Design Manual* yang diterbitkan pada 1971.



Gambar B4 Hubungan Antara Permeabilitas dan Angka Pori Sebagai Fungsi dari Indeks Plastisitas dan Kadar Lempung.



Gambar B5 Hubungan Antara Koefisien Konsolidasi dan Batas Cair.

## Appendix C

# Perhitungan Penurunan pada Gambut Berdasarkan Metode Hanrahan

*Lampiran Ini merupakan Cuplikan dari Hanrahan & Rogers (1981)*

A simple design method was proposed in 1964, and this has since been used successfully on a wide range of compressible soils (11). Briefly, it requires settlement to be separately evaluated under three headings and the results combined to give total settlements.

**Elastic Settlement.**—Various formulas and charts based on Young's modulus and Poisson's ratio, are available for elastic analysis. Direct measurement of elastic settlement was made during the 1964 investigation using plane strain deformation in a model tank. If it is assumed that the elastic properties are proportional to the shear strength, the elastic settlement (stiff strip) may then be computed from the simple formula

$$y_e = \frac{0.02 B q}{s} \dots \dots \dots (1)$$

in which  $y_e$  = elastic settlement (m);  $B$  = width of strip (m);  $q$  = unit load on strip (kPa); and  $s$  = shear strength of soil (kPa).

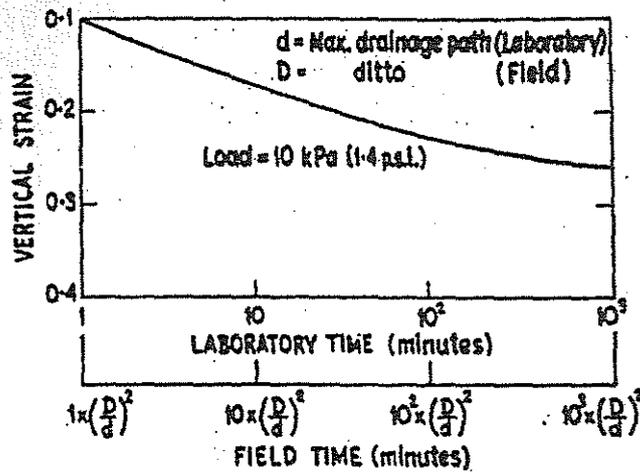


FIG. 3.—Method of Forecast Based on Alteration of Time Scale

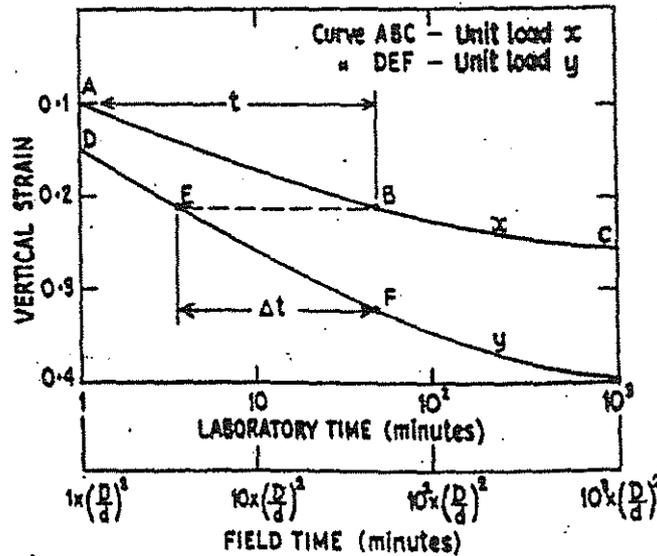


FIG. 4.—Method of Forecast when Load is Not Constant

**Consolidation Settlement.**—Consolidation settlement is measured with the oedometer apparatus and requires that a number of similar specimens be tested under a range of loadings. Each load is applied as a single increment. The wellknown  $H^2$  time-scaling method, based on the Terzaghi equation of one-dimensional consolidation, proposed by Hanrahan (5,6), is used for forecasting field settlements. The method is especially useful for soils such as peat, the properties of which change significantly under load and time.

Firstly, the laboratory curve relating vertical strain and time is established (Fig. 3). For forecasting field behavior, the time scale is then altered in the ratio  $(D/d)^2$  in which  $D$  = maximum length of drainage path in field; and  $d$  = maximum length of drainage in laboratory. It is generally understood that this method is not applicable in the so-called secondary phase of consolidation. This does not correlate with this author's experience.

If the loading does not remain constant, a simple method of curve-hopping is used, as illustrated in the following example. Suppose it is required to forecast the field settlement of a stratum ( $D$ ) under a unit load  $x$  for a time  $t$ , subsequent to which the loading is to be increased to  $y$  for a time interval  $\Delta t$ . Two single-increment oedometer curves ( $d$ ) ABC and DEF, (Fig. 4), are required. The field-time scale is established by correcting the laboratory scale by the ratio  $(D/d)^2$ . The strain produced by the load  $x$  at time  $t$  is then shown at the point B. The total strain produced at time  $t + \Delta t$  by the loading sequence is given by the point F. The method of curve-hopping is valid both for increasing and decreasing loads.

**Creep Settlement.**—This important type of settlement is taken into account in the formula

$$y_p = 10^{-4} \left[ 21 \left( \frac{q}{s} \right)^3 + 39 \left( \frac{q}{s} \right)^{1.75} \log t \right] \frac{B}{s} \dots \dots \dots (2)$$

in which  $y_p$  = creep settlement (m);  $B$  = width of loaded strip (m);  $q$  = unit load on strip (kPa); and  $s$  = undrained shear strength (kPa).

This equation is the result of a regression analysis of a family of curves (6). Eq. 2 may also be used when either the loading or the time is a variable. For example, suppose that the creep settlement is known at the start of a time increment  $\Delta t$ , during which a load  $x$  is in operation. Clearly, this settlement may have developed under a succession of previous loads of different values. Eq. 2 is then used to find an *equivalent time*,  $t_{eq}$ . This is the time it would take for the known creep settlement to develop under the single load  $x$ . The required settlement at the end of the time interval,  $\Delta t$ , is then found by putting  $t = t_{eq} + \Delta t$ , and again solving Eq. 2 for a new value of  $y_p$ .

#### DESIGN DATA

Design data are used for the application of the simple method to the County Offaly road.

**In-Situ Characteristics.**—These were previously described (6). The average undrained shear strength was 0.75 psi (5.81 kPa) and the moisture content 1,150%. A relationship between undrained shear strength and moisture content was also

established. To allow for the strengthening which takes place on consolidation, the simple assumption was made that there was a uniform vertical strain, a reduction of moisture content, and an increase of strength throughout the full depth of the stratum. This is the basis of Fig. 5.

**Oedometer Settlement Curves.**—Fig. 6 shows three curves relating vertical strain in the oedometer with time, obtained using a standard 76 mm diam specimen, over a time period of 1,000 min, for three different loads. Curves for other loads may be interpolated, as shown (6).

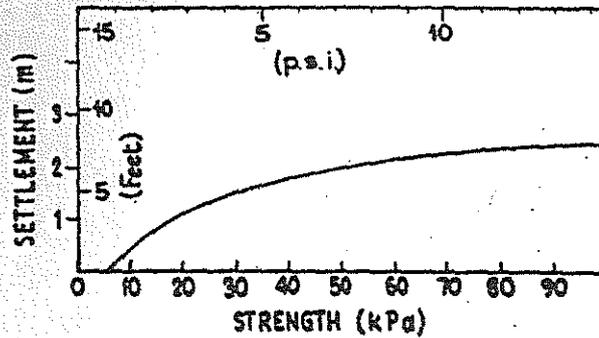


FIG. 5.—Relationship Between Settlement and Average Strength of Peat

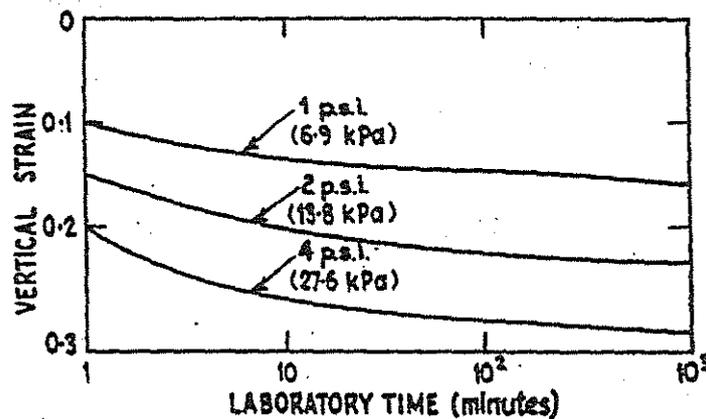


FIG. 6.—Oedometer Curves Showing Effect of Varying Loads

**Width of Loaded Strip.**—(assumed stiff) = 6.4 m.

**Thickness of Peat Layer.**—= 25 ft (7.6 m). The peat stratum was underlain by impermeable glacial till, and the maximum drainage path was, therefore, taken equal to the thickness of the peat stratum. Thus, 1-min laboratory time was equivalent to 438 days field time.

**Loading.**—Table 1 shows the loadings which were in operation since construction, between 3,500 and 9,500 days. Any change in loading was assumed to be caused by periodic maintenance, and observed increases in thickness were applied in four equal increments at 3,500, 5,000, 6,500, and 8,000 days respectively.

The changes in loading at 100 days was due to the substitution of the lightweight bales for the gravel. Reference to baled sections, such as at trial holes 2, 3, 5, and 6, confirms the stability achieved by the lightweight fill. Unbaled sections, e.g., 4 and 9, exhibit large and persistent deformations (Fig. 8).

#### COMPARISON BETWEEN COMPUTED AND OBSERVED SETTLEMENTS

Figs. 7 and 8 show, respectively the computed and observed settlements of the subgrade at each of the 10 locations. Satisfactory agreement is seen to exist between both sets of curves, thus confirming the validity of the simple method of computation described.

Location (1)	LOADS											
	0-100 days		100-3,500 days		3,500-5,000 days		5,000-6,600 days		6,600-8,000 days		8,000-9,500 days	
	In kilopascals (2)	In pounds per square foot (3)	In kilopascals (4)	In pounds per square foot (5)	In kilopascals (6)	In pounds per square foot (7)	In kilopascals (8)	In pounds per square foot (9)	In kilopascals (10)	In pounds per square foot (11)	In kilopascals (12)	In pounds per square foot (13)
1	10.18	212	3.36	70	4.22	88	5.09	106	5.95	124	6.82	142
2	27.02	563	9.74	203	9.74	203	9.74	203	9.74	203	9.74	203
3	20.69	431	10.99	229	10.99	229	10.99	229	10.99	229	10.99	229
4	6.91	144	6.91	144	10.56	220	14.26	297	17.90	373	21.60	450
5	15.98	333	9.74	203	9.74	203	9.74	203	9.74	203	9.74	203
6	26.11	544	12.77	266	12.77	266	12.77	266	12.77	266	12.77	266
7	5.71	119	5.71	119	6.10	127	6.48	135	6.86	143	7.20	150
8	8.74	182	8.74	182	9.12	190	9.50	198	9.89	206	10.27	214
9	18.00	375	18.00	375	22.08	460	26.06	543	30.10	627	34.18	712
10	8.74	182	8.74	182	9.41	196	10.08	210	10.75	224	11.42	238

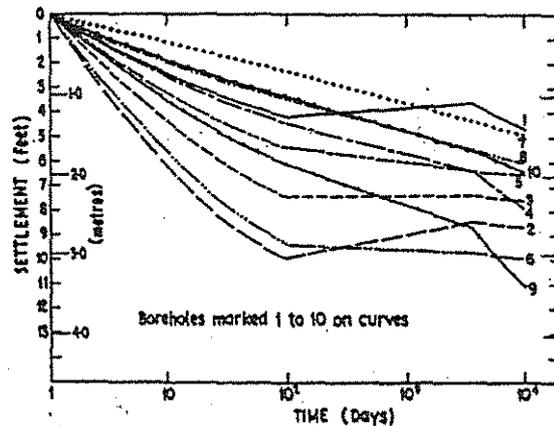


FIG. 7.—Computed Settlements at Ten Locations Using Simple Method

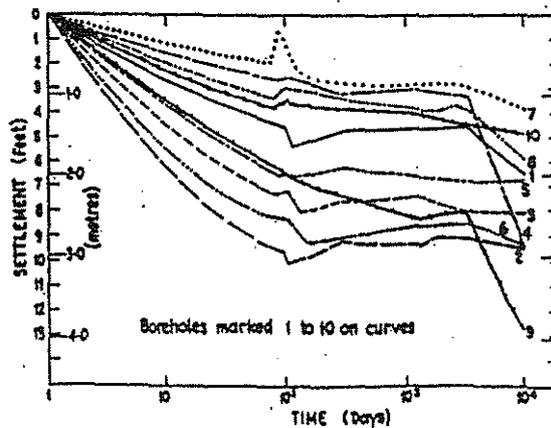


FIG. 8.—Observed Settlements at Ten Locations

## Lampiran D

# Desain Matras Geotekstil untuk Timbunan Bertiang

*Lampiran Ini merupakan Cuplikan dari Exxon(1989)*

## Piled embankments

There are two limiting factors relating to the construction of embankments over soft foundation soils. Firstly, the presence of the soft foundation soil restricts the geometry, from a stability viewpoint, to which the embankment may be constructed. Geotextile reinforcement at the base of the embankment increases stability, but only within certain limits. These coincide with the ultimate bearing capacity of the soft foundation soil. Secondly, soft foundation soils are compressible, and relatively large consolidation settlements can occur. While it may be possible to use specific foundation treatments to accelerate the consolidation of soft soils (for example, the use of vertical drains) or to reduce post-construction settlements, these are not always practicable.

Various techniques exist to increase the effective shear strength of soft foundation soils, and to control their post-construction consolidation. These techniques, include drainage, grouting, piling, complete soil replacement, etc. The technique which best enables embankments to be constructed to unrestricted heights, at any construction rate, with subsequent controlled post-construction settlements is piling.

As with other piled structures, piled embankments may utilise a range of pile types, namely, driven or cast insitu concrete piles, timber piles, stone columns, grout injected stone columns, lime columns, or sand compaction piles.

For piled embankments it is normally assumed that *all of the embankment loading* will be transferred through the piles down to a firm stratum. Consequently, the soft foundation soil, itself, no longer has direct relevance to the performance of the embankment, and the characteristics of the soil have to be considered only with regard to the type of piles used.

To transfer the total embankment loading onto the piles, large sized pile caps are used to

enable pile spacing to be kept to a maximum. *Arching of the soil* between the edges of the pile caps is utilised to transfer the load of the embankment onto the piles. In the case of a low embankment, where minimal arching occurs, a concrete raft is conventionally used over the whole area at the base of the embankment.

In addition to the above, raking piles are normally installed at the edges of the embankment to counteract the lateral thrust of the embankment fill.

Thus, conventional piled embankments are subject to two main design constraints - the need to have large size pile caps to ensure maximum load transfer to the piles, and the need to have raking piles at the edges of the embankment to counteract lateral thrust. The standard configuration is shown in Figure 69a.

Over the last 10 years considerable use has been made of geotextiles to support the base of embankments constructed over piled foundations. The role of the geotextile is twofold

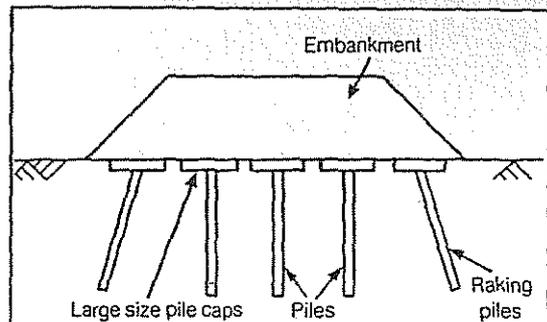


Figure 69a: Conventional Piled Embankment

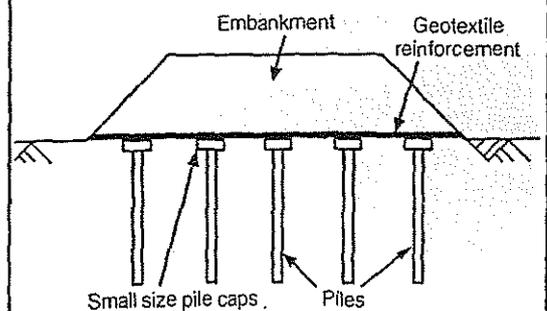


Figure 69b: Piled embankment utilising geotextile reinforcement

Figure 69c: Piled embankment with raft

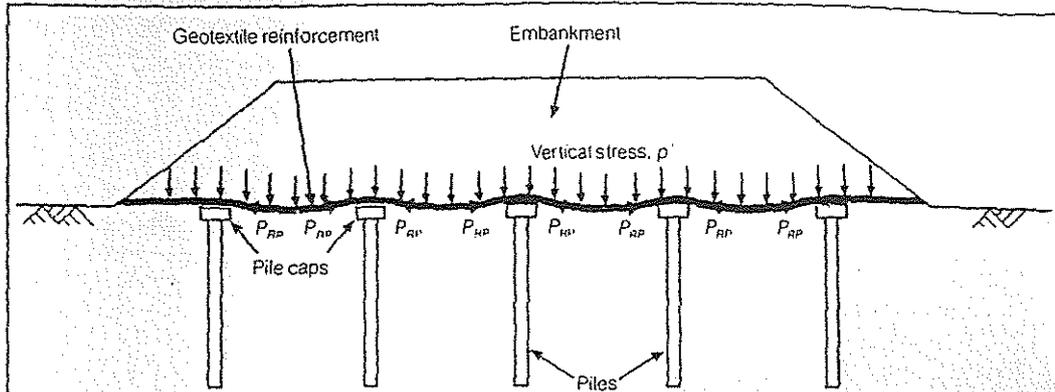


Figure 70a: Role of geotextile in transferring the vertical embankment stresses onto the pile caps

- to support the weight of the fill in the embankment between the piles, and to counteract the horizontal thrust at the sides of the embankment. The typical configuration is shown in Figure 69b. In supporting the embankment fill between the piles, the geotextile acts as a tension membrane transferring the vertical load of the embankment directly onto the piles. This enables the size of the pile caps to be reduced substantially. Because the geotextile also counteracts the horizontal thrust at the sides of the embankment, no raking piles are required, all the lateral thrust being borne by the tensile resistance of the geotextile.

#### Design of geotextile reinforcement

The determination of the overall working tensile properties of the geotextile reinforcement required for design can be divided into two parts. The first involves the determination of the working tensile properties required to transfer the vertical loading of the embankment fill (and surcharge) onto the piles. These required tensile properties act *both across and along the length of the embankment*. This is shown in Figure 70a. The second part involves the determination of the working tensile properties required to resist the horizontal outward thrust of the embankment. These required tensile properties act *across the width of the embankment only*. This is shown in Figure 70b.

Once the appropriate working tensile properties have been established for each part of the design, the required overall working tensile properties can be determined. The required overall working tensile loads are the

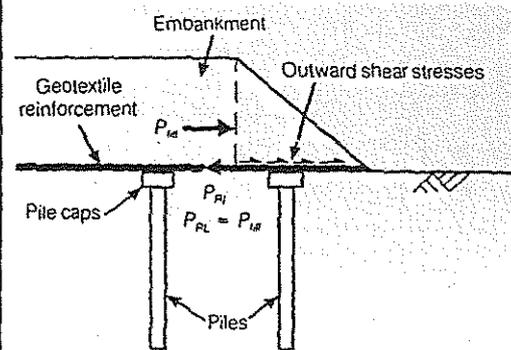


Figure 70b: Role of geotextile in resisting horizontal embankment stresses

Figure 70: Dual role of geotextile reinforcement in piled embankments

sum of the two parts of the design in both the longitudinal and cross directions of the embankment. The *required* overall tensile extensions are the minimum determined from each of the two parts of the design.

**Transference of vertical embankment stresses**  
For the purpose of design it is assumed that the total load of the embankment will be carried solely by the piles, with the foundation soil not contributing any load carrying capability at all. Thus, assuming the piles are laid out in a square grid, the maximum allowable spacing of the piles can be determined using the relationship presented in Figure 71.

Because of the significant differences in deformation characteristics which exist between

the piles and the surrounding soft foundation soil, the vertical stress distribution due to the load of the embankment, is non-uniform across the base of the embankment. The vertical stress acting on top of the relatively rigid piles is significantly greater than that acting on the surrounding compressible foundation soil. This redistribution of vertical stress between the piles and the compressible foundation soil is

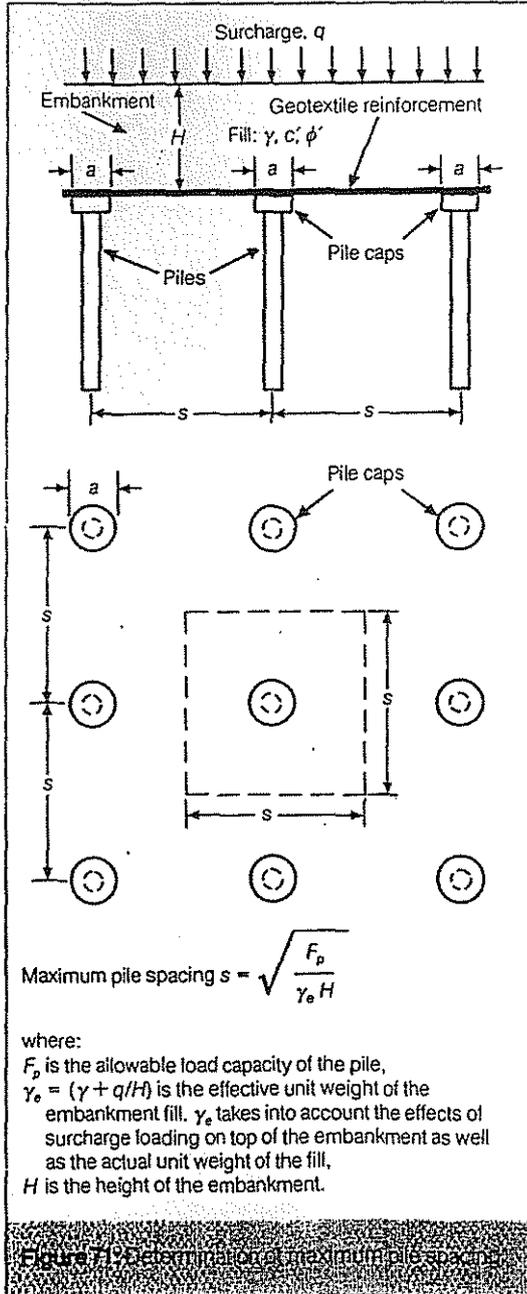


Figure 71: Determination of maximum pile spacing

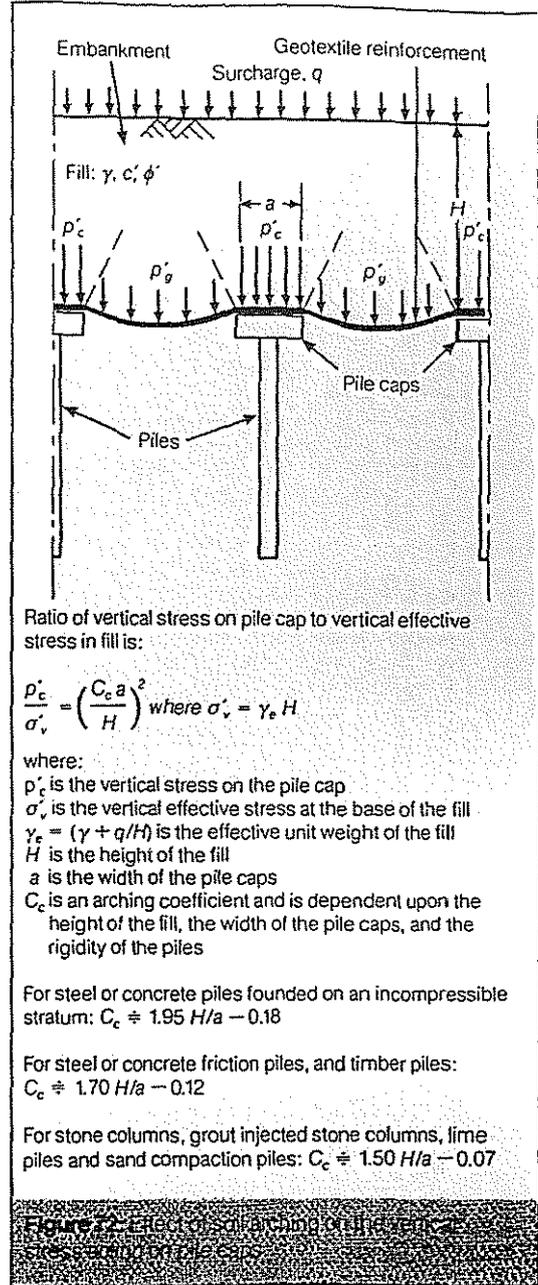


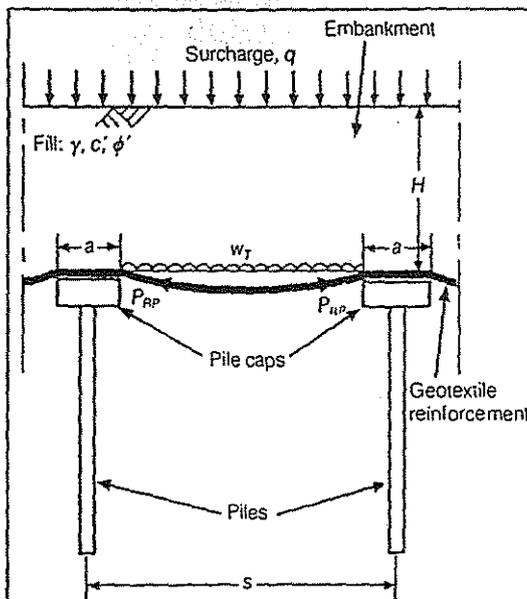
Figure 72: Effect of soil arching on the vertical stress distribution

due to arching of the embankment fill between adjacent pile caps. The degree of soil arching occurring (and consequently, the degree of stress redistribution) is a function of the distance between adjacent pile caps, the height of the embankment, the properties of the fill material (to a small extent), and the rigidity of the piles in relation to the surrounding foundation soil.

By utilising Marston's formula for positive projecting subsurface conduits (Spangler and Handy[31], John[32]), a relationship can be derived to determine the vertical pressure exerted on top of the pile caps due to the presence of soil arching at the base of the embankment fill. The ratio of vertical stress on top of the pile caps to the average vertical effective stress at the base of the fill  $p'_c/\sigma'_v$  is shown in Figure 72.

Using the relationship for  $p'_c/\sigma'_v$  presented in Figure 72 as a basis, the magnitude of the distributed load which the geotextile reinforcement has to support between the pile caps can be determined. This is shown in Figure 73.

While in reality the distributed load  $w_T$  acts along the length of the deflected geotextile (which thus takes the shape of a catenary), to simplify the analysis it is assumed that the load



The distributed load  $w_T$  causing tension  $P_{RP}$  to develop in the geotextile reinforcement is:

$$w_T = \frac{\gamma_e H}{(s^2 - a^2)} \left[ s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right]$$

where:

$\gamma_e = (\gamma + q/H)$  is the effective unit weight of the fill  
 $p'_c$  is the vertical stress acting on the pile caps (see Figure 72)

$\sigma'_v$  is the vertical effective stress at the base of the fill (see Figure 72).

Figure 73. Determination of the vertical distributed load  $w_T$  acting on the unsupported geotextile reinforcement.

is actually distributed along the horizontal span of the segment. In this case, the shape of the deflected geotextile is parabolic. (When there is very little sag in the geotextile, the complex catenary solution approximates closely to the simpler parabolic solution.)

The equations governing the tensile load and the extension in the unsupported geotextile segment when subjected to a distributed vertical load is (Leonard[33]):

$$\text{Equation 34: } P_{RP} = \frac{w_T (s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{(s-a)^2}{16d^2}}$$

$$\text{and } \epsilon = \frac{8d^2}{3(s-a)^2}$$

where  $P_{RP}$  is the tensile load developed in the geotextile per unit width (e.g. kN/m),  $d$  is the maximum deflection of the geotextile reinforcement,  $\epsilon$  is the maximum initial extension in the geotextile reinforcement. The other variables are as shown in Figure 73.

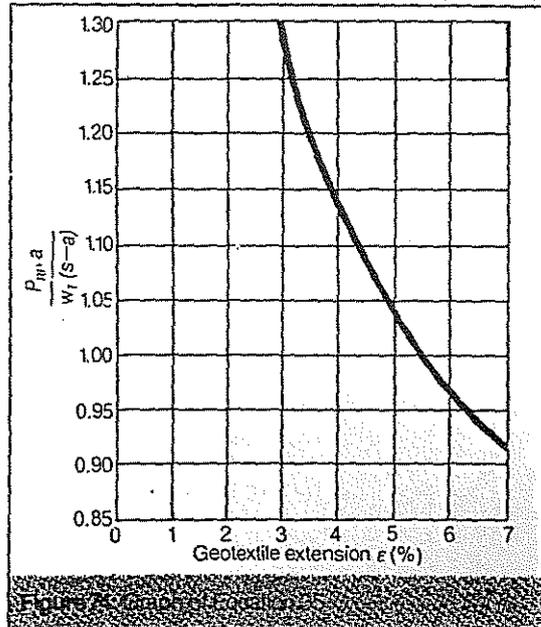


Figure 74.

Equation 34 can be simplified into one equation relating the tensile load  $P_{RP}$  in the geotextile reinforcement to its extension  $\epsilon$ :

$$\text{Equation 35: } P_{RP} = \frac{w_T (s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{1}{6\epsilon}}$$

Equation 35 is shown graphed in non-dimensional form in Figure 74.

Equation 35 is indeterminate because it contains two unknowns -  $P_{RP}$  and  $\epsilon$ . To solve Equation 35 it must be combined with the relationship describing the load-extension properties of the geotextile reinforcement.

$$\text{Equation 36: } P_{RP} = E \epsilon$$

where  $E$  is the modulus of elasticity of the geotextile reinforcement. For practical reasons, Equations 35 and 36 should be solved by trial and error.

The tensile load  $P_{RP}$  in the geotextile reinforcement is transmitted both across the width and along the length of the embankment. To satisfy this two directional load carrying requirement, it is common practice to use two layers of unidirectional geotextile reinforcement laid at right angles to one another.

While the magnitude of the initial tensile extension of the geotextile reinforcement is not critical, a practical upper limit should be imposed to ensure all the embankment loads are transferred to the piles, with no component shed onto the foundation soil beneath the geotextile. An upper geotextile extension limit of approximately 6% should be sufficient for this purpose.

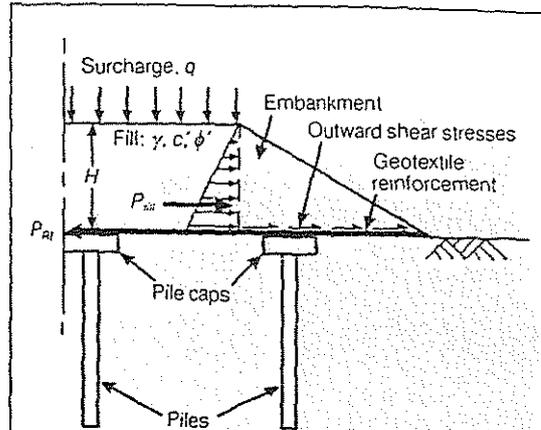
Limitation of the long term extension (creep) of the geotextile reinforcement is essential. Although the magnitude of the initial extension is not critical because the geotextile is tensioned and deflected during construction of the embankment, the long term extension should be kept to a minimum, thus ensuring long term localised deformations do not occur at the surface of the embankment. A maximum allowable creep extension of 1% over the design life of the geotextile reinforcement would appear warranted.

#### Resistance to horizontal outward thrust

In addition to transferring the vertical embankment stresses to the piles, the geotextile reinforcement is also required to provide resistance to the horizontal outward thrust of the embankment. This horizontal outward thrust is at a maximum at the shoulder of the embankment, thus the tensile force required in the geotextile to resist this outwards thrust will also be at a maximum directly below the shoulder of the embankment.

In Figure 75, the horizontal outwards thrust due to the embankment  $P_{RH}$  is resisted by a

tensile force in the geotextile reinforcement  $P_{RH}$ . The calculation of the magnitude of  $P_{RH}$  is also shown in Figure 75. This tensile force only occurs across the width of the embankment.



Tensile load in geotextile  $P_{RH}$  due to horizontal outward thrust of embankment  $P_{RH}$  is:

$$P_{RH} = P_{RH} = 0.5 K_a \gamma_e H^2$$

where:

$K_a = \tan^2(\pi/4 - \phi/2)$  is Rankine's coefficient of active pressure

$\gamma_e = (\gamma + q/H)$  is the effective unit weight of the fill  
 $H$  is the height of the embankment.

In addition, a check has to be made to ensure an adequate bond exists between the geotextile reinforcement and the embankment fill to develop the tensile load  $P_{RH}$  in the reinforcement.

Figure 75. Determination of tensile load in geotextile reinforcement required to resist the horizontal outward thrust of the embankment

A subsequent check on the stability of that part of the embankment slope that lies outside the line of the outside row of piles is also recommended. This is done by use of slip circles which pass through the base of the embankment beyond the line of the outside row of piles. The presence of the geotextile reinforcement is taken into account by assuming it provides a resisting moment to the stability calculations, identical to its role in reinforced embankments on soft soil (as discussed at the beginning of this section).

#### Overall tensile requirements for piled embankments

As stated previously, the geotextile reinforcement performs two roles - it transfers

the vertical stresses of the embankment onto the pile caps, and it provides resistance to the horizontal outward thrust of the embankment.

The required working tensile strength in the geotextile reinforcement in the direction along the length of the embankment will be  $P_{RP}$  because its role is only to transfer the vertical embankment stresses onto the pile caps in this direction. However, in the direction across the embankment, the geotextile has to transfer the vertical stresses of the embankment onto the pile caps as well as provide resistance to the horizontal outward thrust of the embankment. Thus, the overall tensile strength requirements may be summarised as follows:

**Equation 37:**

Along the length of the embankment:

$$P_R (design) \geq P_{RP}$$

Across the width of the embankment:

$$P_R (design) \geq P_{RP} + P_{RI}$$

where  $P_R (design)$  is the required long term design working strength of the geotextile reinforcement.

The maximum allowable extension in the geotextile reinforcement acting across the width of the embankment should be 6% with a maximum allowable creep extension of 1%. The same limits on extension apply in the direction along the length of the embankment.

**Example 6**

It is proposed to design a piled embankment in the configuration shown in Figure 76a. The relevant properties of the embankment fill to be used are also shown in Figure 76a. It is proposed to use concrete piles driven to bedrock. These piles will have a working load capacity of 500 kN. Design a suitable pile configuration and determine the required working loads and maximum extensions for a suitable geotextile reinforcement layer to be placed over the tops of the pile caps, given the isochronous load-extension properties of the proposed geotextile in Figure 76b.

**Solution**

The effective unit weight of the embankment fill is  $\gamma_c = (\gamma + q/H) = 18 + 10/4 = 20.5 \text{ kN/m}^3$ .

Taking the relationship  $s = \sqrt{F_o / (\gamma_c H)}$  in Figure 71, the maximum pile spacings are  $s = \sqrt{500 / (20.5 \times 4)} = 2.5 \text{ m}$ .

From Figure 72, the relationship for the pressure ratio due to soil arching between the pile caps is  $p'_c / \sigma'_v = (C_c a/H)^2$  where  $C_c = (1.95H/a) - 0.18$ . Assuming that the diameter of the pile caps will be  $a = 1 \text{ m}$ ,  $C_c = (1.95 \times 4/1) - 0.18 = 7.62$ . Therefore,  $p'_c / \sigma'_v = (7.62 \times 1/4)^2 = 3.6$ .

To determine the distributed load acting on the unsupported part of the geotextile the relationship in Figure 73 is used:

$$w_r = \frac{s \gamma_c H}{(s^2 - a^2)} \left[ s^2 - a^2 \frac{p'_c}{\sigma'_v} \right]$$

$$= \frac{2.5 \times 20.5 \times 4}{(2.5^2 - 1^2)} [2.5^2 - 1^2 \times 3.6]$$

$$w_r = 104 \text{ kN/m per m length of span}$$

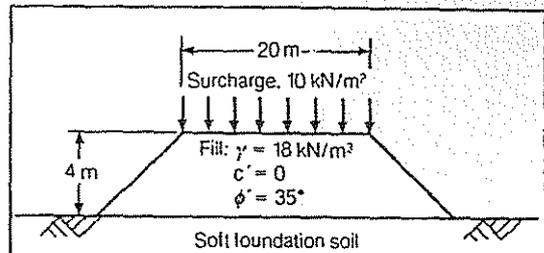


Figure 76a: Diagram showing proposed embankment

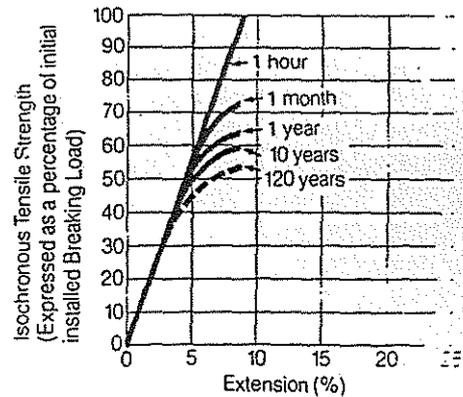


Figure 76b: Isochronous load-extension curves for the proposed geotextile reinforcement

Figure 76: Embankment configuration and properties of proposed geotextile reinforcement for Example 6

Figure 76b contains the isochronous load-extension curves of the proposed geotextile reinforcement. In order to be able to use Equation 35 to determine the required working strength of the geotextile  $P_{RP}$ , an estimate of the extension  $\epsilon$  at safe working load has to be made for the particular geotextile reinforcement. The procedure for determining the safe working load in the geotextile reinforcement, and thence the maximum allowable working extension, is presented in Section 2 'Geotextile Reinforcement'. For the purposes of this example it is assumed that this procedure has already been done for the geotextile reinforcement in question. It is assumed that this procedure has yielded a maximum allowable working extension of 3.5%. This corresponds to 40% of the initial installed breaking load of the geotextile reinforcement, see Figure 76b.

A geotextile extension of 3.5% is less than the maximum allowable geotextile extension (6%) for geotextile reinforced piled embankments. If it is assumed that the required design life of the geotextile reinforcement is 120 years, then from Figure 76b, the creep extension of this type of geotextile reinforcement will be approximately 1%. This meets the maximum allowable creep extension of 1% stated in the text.

Thus, using a maximum geotextile extension of  $\epsilon = 3.5\%$ , and substituting this in Equation 35 with the other variables, the required working strength  $P_{RP}$  of the geotextile can be obtained.

$$\begin{aligned}
 P_{RP} &= \frac{w_l (s-a)}{2a} \sqrt{1 + \frac{1}{6\epsilon}} \\
 &= \frac{104 \times (2.5-1)}{2 \times 1} \sqrt{1 + \frac{1}{(6 \times 0.035)}} \\
 &= 187 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

Thus, to transfer the vertical stresses from the embankment onto the pile caps the geotextile has to be able to generate a safe working strength of 187 kN/m at a maximum initial extension of 3.5%.

In the direction across the embankment, the geotextile has to resist the outwards thrust of the embankment as well as to transfer the vertical stresses of the embankment onto the pile caps.

The relationship presented in Figure 75 can be used to determine the horizontal outwards thrust of the embankment:

$$P_{RL} = 0.5 K_a \gamma_c H^2 \text{ where } K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 35^\circ/2) = 0.27.$$

$$P_{RL} = 0.5 \times 0.27 \times 20.5 \times 4^2 = 45 \text{ kN/m length of embankment.}$$

Therefore, in the direction across the embankment, the geotextile reinforcement has to be able to generate a safe working load of 232 kN/m ( $= P_{RP} + P_{RL}$ ) at a maximum initial extension of 3.5%.

The required working tensile properties of a suitable geotextile reinforcement are:

Minimum 232 kN/m working tensile strength with a maximum initial extension (at working load) of 3.5% across the width of the embankment, and

Minimum 187 kN/m working tensile strength with a maximum initial extension (at working load) of 3.5% along the length of the embankment.

Lampiran E

Isi Laporan

Logo Pemilik Proyek + Nama Pemilik Proyek

Nama Proyek

Judul Laporan

Tanggal

Pendahuluan/Draf/Laporan Akhir

Nama Perusahaan

Lampiran E1 Sampul Laporan Standar

Nama Proyek  
Daftar Isi

<b>Rangkuman Eksekutif</b>	
<b>Lembar Pemenuhan</b>	
1	Pendahuluan ..... 1
2	Deskripsi Tujuan
2.1	Pencapaian Tujuan ..... 2
3	Deskripsi Lapangan
3.1	Sistem Survei ..... 3
3.2	Topografi ..... 3
3.3	Sistem Drainase ..... 4
4	Geologi
4.1	Geologi Regional ..... 5
4.2	Geologi Lokal ..... 7
4.3	Stratigrafi Lapangan ..... 8
4.4	Variasi Litologis ..... 10
5	Hidrogeologi
5.1	Elevasi Air Tanah ..... 12
5.2	Aliran ..... 12
5.3	Pengaruh Musim ..... 13
5.4	Pengaruh Pasang Surut ..... 13
5.5	Banjir ..... 14
5.6	Kimia Air Tanah ..... 14
6	Parameter Desain
6.1	Umum ..... 16
6.2	Bahan Timbunan ..... 17
6.3	Lempung Marin Atas ..... 17
6.4	Pasir Antara ..... 18
6.5	Lempung Marin Bawah ..... 18
6.6	Lempung Pleistosen ..... 20
7	Prosedur Desain
7.1	Pengantar ..... 21
7.2	Standar dan Peraturan yang Digunakan dalam Desain Geoteknik ..... 21
7.3	Zonasi Site ..... 21
8	Rangkuman Desain & Kesimpulan
8.1	Umum ..... 24
8.2	Zona 1: Timbunan Tinggi ..... 25
8.3	Zona 1: Timbunan Rendah ..... 28
8.4	Zona 2: Oprit Jembatan ..... 30
	Dan lain-lain...
9	Spesifikasi dan Kontrak
9.1	Spesifikasi ..... 45
9.2	Supervisi ..... 45
10	Masalah Lingkungan ..... 46
11	Referensi ..... 47
<b>Tabel</b>	
	Tabel 1
	Dan seterusnya
<b>Gambar</b>	
	Gambar 1
	Dan seterusnya
<b>Gambar Teknik</b>	
	No Gambar Teknik ...
	Dan seterusnya
<b>Lampiran</b>	
	Lampiran 1 Daftar Ketidakcocokan
	Dan seterusnya

Lampiran E2 Daftar Isi Laporan Desain Standar - Contoh

Nama Proyek  
Judul Laporan

Informasi yang digunakan dalam menyusun laporan telah diperoleh sesuai dengan Panduan Geoteknik 1 sampai 4 dan desain telah dilaksanakan sesuai dengan Panduan Geoteknik 4 kecuali yang tercantum dalam Daftar Ketidakcocokan yang dinyatakan dalam Lampiran 1 dari laporan ini

Tertanda  
Nama  
Ahli Geoteknik yang Ditunjuk  
Tanggal

Lampiran E3 Lembar Persetujuan Laporan Desain Standar

**Peningkatan Jalan antara Tanah Merah ke Tanah Hitam**  
**Laporan Desain Geoteknik**  
**Data yang Ditolak**

1	P4	Pembacaan Piezocone pada opit bagian barat dari Jembatan Kali Barat. Hasil-hasil menunjukkan variasi yang tidak menentu dan konus rusak setelah pengujian selesai. Kemungkinan ujung konus terkena rintangan di dekat permukaan.
2	BH3/PS2	Contoh piston tercatat kondisinya rusak pada saat tiba di laboratorium dan hanya pengujian indeks yang dilaksanakan. Demikian pula hasil-hasil pengujian memperlihatkan contoh mungkin telah mengering sebelum benda uji diperoleh dari contoh piston.
3	BH4/PS3	Pengujian Konsolidasi. Tekanan prakonsolidasi tidak dapat ditentukan. Pemeriksaan kadar air dari contoh tanah ini menunjukkan variasi, sehingga hasil pengujian konsolidasi tidak dipakai.
4	Contoh Air Tanah	Semua hasil telah ditolak. Hasil-hasil tidak seperti biasanya dan pada pemeriksaan ditemukan bahwa wadah contoh tidak dicuci sebelumnya dengan air tanah.

Lampiran E4 Data yang Ditolak – Contoh

Unit Tanah	$\gamma_b$ kN/m <sup>3</sup>	$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	$\phi$	$c_v/(1+e_0)$	$c_{\alpha}$	$c_v$ m <sup>2</sup> /thn	$c_h$
Bahan Timbunan	20		28				
Lempung Marin Atas	16	[1]		0.3	0.04	2	4
Pasir Antara	20		35				
Lempung Marin Bawah	18	45		0.2	0.01		
Lempung Pleistosen	19	75		0			

Lampiran E5 Contoh Tabel Parameter Desain

## Lampiran F

### Garis Besar (*Out Line*) Prosedur Timbunan Percobaan

## **Pengantar**

### *Tujuan dari Prosedur*

Garis besar ini dimaksudkan untuk memberikan panduan mengenai informasi yang harus didapat, prosedur yang harus diadopsi, dan isi dari laporan sementara dan akhir mengenai timbunan percobaan.

### *Penggunaan Prosedur*

Petunjuk ini dibuat untuk Timbunan Percobaan pada proyek Indon GMC. Percobaan ini bertujuan untuk memberikan informasi umum mengenai perilaku timbunan di atas tanah lunak dan gambut. Meskipun begitu Petunjuk ini dapat pula digunakan oleh Perekayasa Ahli yang merencanakan suatu uji-coba timbunan percobaan untuk tujuan yang sama.

## **Data Pendahuluan**

### *Pengumpulan Data yang Telah Ada*

(Merujuk ke Panduan Geoteknik 2) Peta Topografi – Peta geologi – Peta pemanfaatan lahan – peta historis – Peta drainase – peta tanah untuk pertanian – foto udara – foto satelit

Penyelidikan-penyelidikan lapangan sebelumnya

### *Periapan Penilaian Awal*

Siapkan denah/peta kunci – peta yang memperlihatkan lokasi lubang bor yang telah ada - potongan yang menggunakan data tanah atau estimasi kondisi tanah yang paling mendekati. Identifikasi lokasi yang potensial untuk timbunan percobaan.

### *Peninjauan Lapangan*

Kunjungi tempat. Peninjauan lapangan sesuai dengan Panduan Geoteknik 2 (identifikasi medan – fitur yang telah ada seperti kegagalan bangunan – timbunan yang turun – drainase yang terputus).

Identifikasi faktor-faktor praktis untuk pelaksanaan timbunan percobaan: akses ke lokasi – persyaratan akses di lokasi – persyaratan drainase – pemagaran untuk keamanan – penerangan

Kenali ruang lingkup timbunan percobaan dan kecocokan lokasi.

Siapkan garis besar desain pendahuluan dan instrumentasi untuk masukan dalam desain penyelidikan lapangan.

## **Penyelidikan Lapangan**

### *Desain Penyelidikan Lapangan*

Merujuk ke Panduan Geoteknik 2

Penyelidikan lapangan bertujuan untuk:

- a) identifikasi kondisi tanah,
- b) mendapatkan parameter untuk analisis desain dan analisis balik.

Buat daftar parameter yang diperlukan sebagai bagian dari desain penyelidikan lempung.

Identifikasi lokasi untuk pemasangan instrumentasi dan pastikan kondisi tanah diidentifikasi dengan baik pada lokasi tersebut.

## Desain

### *Tipe Percobaan*

Tiga tipe dasar:

Dimaksudkan untuk terjadi keruntuhan: untuk analisis balik parameter stabilitas dan untuk optimasi desain timbunan sampai batas keruntuhan.

Dimaksudkan untuk memodelkan serangkaian alternatif desain, dan untuk menilai efektifitas/atau keuntungan-keuntungannya.

Dimaksudkan untuk memodelkan desain yang diusulkan: untuk meyakinkan bahwa parameter desain yang digunakan memadai, atau untuk memperbaiki desain, atau untuk mengenali dengan lebih tepat waktu pelaksanaan yang diperlukan untuk suatu desain tertentu.

### *Desain Timbunan*

Analisis desain timbunan harus mengikuti teknik standar (merujuk Panduan Geoteknik 4) dan sepenuhnya memprediksi perilaku timbunan.

*Idealisasi profil tanah*

*Pilih parameter tanah*

*Stabilitas – tentukan Faktor Keamanan yang diperlukan – analisis:*

- a)  $c_u$  jangka pendek pada saat konstruksi selesai,
- b) tegangan efektif untuk konstruksi bertahap (dengan disipasi tekanan air pori).

*Analisis penurunan.*

- a) Terzaghi,
- b) empiris,
- c) lainnya (untuk gambut).

*Identifikasi penurunan yang akan terjadi pada masing-masing instrumen*

### *Pemilihan Instrumentasi*

*Dasar pemilihan:*

*Memberikan data untuk dibandingkan dengan perilaku yang diprediksi*

*Pemasangan, dan perilaku jangka panjang, dapat diandalkan*

*Peralatan dan keahlian yang tersedia untuk membaca instrumen*

*(Biaya menjadi bahan pertimbangan: tetapi bila tidak mampu membiayai instrumentasi untuk mendapatkan data yang diperlukan, lalu apa gunanya melaksanakan percobaan timbunan?)*

*Petunjuk mengenai instrumentasi yang sesuai dalam Panduan Geoteknik 4: Pemantauan*

#### Lokasi instrumen

- a) lokasi-lokasi kunci untuk pergerakan vertikal dan horisontal,
- b) tipe instrumen yang tersedia,
- c) cantumkan instrumen pada gambar teknik,
- d) letakan posisi instrumen di peta dan pastikan ada pengamanan instrumen selama pelaksanaan,
- e) siapkan spesifikasi tipe dan pemasangan masing-masing instrumen,
- f) siapkan gambar teknik pelaksanaan.

#### *Pertimbangan Pelaksanaan*

Sumber dan tipe bahan timbunan – metode penimbunan (secara umum, dan disekitar instrumen) – metode pemadatan – persyaratan drainase – perlindungan terhadap erosi – akses – pengawasan instrumen – akomodasi – gudang penyimpanan peralatan instrumentasi – komunikasi  
Persiapan spesifikasi pelaksanaan – kecepatan penimbunan – pengaruh gangguan.

### **Pelaksanaan**

#### *Dokumen kontrak*

Persyaratan kontrak – spesifikasi – pengukuran – program

#### *Prosedur*

Pengawasan – komunikasi

#### *Rekaman/Catatan*

Laporan harian – survei – pengujian kepadatan

### **Pemantauan**

#### *Prosedur*

*Rekaman/Catatan (Records)*

### **Interpretasi**

#### *Analisis Hasil Pemantauan*

Pemeriksaan data – metode analisis – perbandingan kumpulan data – umpan balik ke sistem pemantauan – penambahan/pengurangan frekuensi pemantauan – pemeriksaan tambahan pada kalibrasi/datum/respon instrumen.

## **Pelaporan**

### *Laporan Tahap 1*

Sebelum penyelidikan lapangan dilaksanakan dan setelah desain pendahuluan selesai. Anggaran biaya bisa dihitung pada waktu ini.

### *Laporan Tahap 2*

Setelah semua pekerjaan desain selesai – berisi desain lengkap timbunan percobaan dan prediksi perilaku yang berhubungan dengan instrumen yang akan dipasang. Anggaran biaya bisa dipastikan pada waktu ini.

### *Laporan Akhir*

Setelah data diperoleh dari timbunan percobaan dengan menyertakan semua catatan timbunan percobaan, lakukan kaji ulang prediksi dan kesimpulan mengenai parameter tanah yang sesungguhnya.

**Lampiran G**

**Instrumentasi**

## **Pengukuran Penurunan**

Penurunan diukur dengan menentukan elevasi dan perubahan elevasi. Teknik Pengukuran biasanya digunakan untuk menentukan perubahan elevasi ini, tetapi sejumlah teknik tertentu telah digunakan pula. Berikut ini adalah beberapa instrumen pengukur penurunan yang sering digunakan pada konstruksi timbunan, diantaranya :

### *Penanda Penurunan Permukaan*

Penanda penurunan merupakan cara yang paling sederhana dan murah untuk mengukur penurunan. Penanda ini terdiri dari patok dari kayu, baja atau beton yang dipasang di atas permukaan timbunan yang telah selesai seperti terlihat pada Gambar G1. Pengukuran dengan teknik ini hanya mengukur penurunan total timbunan, termasuk penurunan pada lapisan tanah bawah dan timbunan itu sendiri. Penurunan diukur dengan mengukur elevasi terhadap suatu patok tetap yang merupakan datum rujukan.

### *Pelat Penurunan*

Pelat penurunan terdiri dari suatu batang yang dilas pada pelat baja bujur sangkar berukuran 60 kali 60 cm yang diletakkan pada dasar timbunan seperti diperlihatkan pada Gambar G2. Penurunan diukur dengan mengukur elevasi terhadap suatu patok tetap yang merupakan datum rujukan.

### *Ekstensometer Batang*

Ekstensometer batang terdiri dari batang bagian dalam yang terselebung dan pelat rujukan. Batang bagian dalam dimasukkan sampai ke lapisan keras dan penurunan relatif ditentukan dengan pengukuran. Sebuah contoh diberikan pada Gambar G3.

### *Ekstensometer Magnetis*

Ekstensometer ini terdiri dari satu atau lebih titik rujukan yang ditanam di dalam tanah dengan satu titik rujukan terletak pada ujungnya. Batang dan kawat atau peralatan elektronik digunakan untuk menentukan perubahan jarak antara titik-titik rujukan. Ekstensometer magnetis telah tersedia secara komersial. Peralatan ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu sebuah magnet lingkaran permanen yang diberi magnet secara aksial yang berfungsi sebagai penanda dalam tanah dan sensor. Sensor, saklar buluh, bergerak secara aksial ke dalam medan magnet, menutup dan mengaktifkan lampu indikator atau bel. Peralatan ini digunakan dengan memasukkannya ke dalam lubang bor 100 mm dan sejumlah magnet dipasang dalam lubang bor dari dasar ke atas, dan magnet pada dasar diletakkan pada tanah/batuan yang kuat, dan dapat digunakan sebagai titik tetap. Gambar G4 menggambarkan penggunaan ekstensometer magnetis untuk mengukur penurunan pada berbagai

kedalaman pada tanah bawah permukaan. Instrumen ini harus dibeli dari pemasok spesialis dan dipasang oleh kontraktor yang berpengalaman, dan akan lebih baik jika dilakukan oleh pemasoknya.

### **Pengukuran Tekanan Air Pori**

Tekanan pori dapat memberi indikasi akan terjadinya ketidakstabilan pada timbunan dan juga penting untuk evaluasi kemajuan proses konsolidasi. Berbagai jenis pisometer telah tersedia secara komersial. Meskipun demikian, jenis pisometer yang dipilih harus memenuhi persyaratan sebagai berikut: (1) harus dapat mencatat secara akurat tekanan pori di dalam tanah dan kesalahan yang terjadi masih dalam batas-batas toleransi, (2) pisometer harus tidak menimbulkan gangguan yang berarti terhadap tanah asli, (3) pisometer harus bereaksi dengan cepat terhadap perubahan kondisi tekanan pori, (4) pisometer harus kuat, dapat diandalkan dan stabil untuk periode waktu yang lama dan (5) pisometer dapat dipantau secara menerus atau berselang-seling bila diperlukan.

### **Jenis Pisometer**

Semua sistem pisometer, mempunyai satu elemen filter berongga yang dimasukkan di dalam lapisan tanah. Elemen ini diklasifikasikan berdasarkan kegunaannya, metode operasinya dan metode pencatatannya. Berikut adalah jenis pisometer yang telah tersedia secara komersial. Pemilihan tipe yang digunakan bergantung pada kondisi tanah.

- ***Pisometer pipa ukur tegak terbuka***

Pisometer pipa terbuka terdiri dari tabung atau pipa dengan elemen berongga pada ujungnya, atau dengan bagian ujung yang berlubang-lubang. Bagian berongga harus dikelilingi atau dibungkus dengan bahan filter dan harus dipasang di dalam lubang bor.

Pisometer pipa terbuka yang sering digunakan adalah pisometer tipe Casagrande seperti terlihat pada Gambar G5. Pisometer pipa terbuka ini sangat sederhana dan murah, tetapi kekurangannya adalah waktu respon yang lambat, oleh karena itu pisometer pipa terbuka tidak disarankan untuk digunakan pada tanah lempung.

- ***Pisometer hidrolis***

Pisometer hidrolis terdiri dari ujung pisometer kecil dengan dinding berpori dan selang plastik kecil, di mana tekanan air dialirkan ke suatu titik yang jauh di mana tekanan diukur dengan manometer air raksa atau pengukur Bourdon.

Pisometer hidrolis memiliki waktu respon yang kecil dan bisa digunakan untuk mengukur perubahan tekanan akibat perubahan tegangan yang ditimbulkan oleh beban timbunan di atasnya, pada lapisan yang memiliki permeabilitas tinggi. Perhatian khusus harus diberikan pada batas permeabilitas dari ujung berporinya.

Pisometer hidrolik memerlukan rumah pengukur yang cukup besar dan oleh karena itu lebih cocok untuk digunakan pada kontrak instrumentasi yang besar.

Ketika menggunakan pisometer hidrolik, harus diperhatikan hal-hal berikut :

- adanya udara dalam tabung akan menyebabkan pembacaan yang salah, dan karena itu tabung tersebut harus dijaga agar selalu penuh dengan air atau udara dikeluarkan,
- tekanan diseluruh pipa penghubung harus berada di atas tekanan atmosfer.

• *Pisometer elektrik*

Pisometer elektrik mempunyai transduser tekanan yang dipasang dekat elemen berpori. Cara kerja dari pisometer elektrik adalah diafragmanya akan melendut oleh tekanan air yang bekerja pada satu sisi. Waktu respon yang sangat cepat bisa dicapai asalkan ujung bebas dari gelembung udara. Kelemahan utama dari pisometer elektrik, adalah dibutuhkan kalibrasi yang tidak mudah untuk dilakukan dan pembuangan udara tidak dimungkinkan lagi untuk dilakukan setelah dipasang. Faktor keandalan juga dapat menjadi masalah untuk kondisi jangka panjang.

• *Pisometer penumatik*

Sistem penumatik terdiri dari ujung berpori, yang didalamnya terdapat dua tabung berisi udara yang menghubungkan titik pengukuran ke suatu katup yang sensitif terhadap tekanan, dan dipasang dekat dengan elemen berpori. Bila sedang digunakan, aliran udara bertekanan dimasukkan ke dalam salah satu saluran udara tetapi ditahan oleh tekanan air pori yang bekerja pada suatu diafragma fleksibel yang tipis. Saat tekanan udara sama dengan tekanan pori, membran mengendur dan udara yang berlebih melewati labu penanda aliran di mana gelembung-gelembung udara akan tampak. Bila pasokan udara ditutup, maka tekanan pada saluran pasokan udara akan sama dengan tekanan air pori.

Pisometer pneumatik memiliki beberapa keuntungan:

- (i) kelambatan waktu kecil,
- (ii) pengoperasian dan pembacaan instrumen sangat sederhana,
- (iii) alat mempunyai stabilitas jangka panjang,
- (iv) pembacaan dilakukan secara langsung.

Kelemahan utamanya adalah udara dari instrumen tidak bisa dikeluarkan. Oleh karena itu tidak bisa digunakan pada endapan-endapan yang mengandung gas.

Contoh pemasangan diperlihatkan pada Gambar G6.

### **Pengukuran Pergerakan Lateral**

Pergerakan lateral timbunan yang ekssesif menandakan permulaan terjadinya kelelahan plastik dari tanah bawah permukaan dan diikuti dengan keruntuhan tanah fondasi. Karena itu untuk mengontrol stabilitas timbunan selama pelaksanaan konstruksi pengukuran, pergerakan lateral harus dilakukan. Instrumen/teknik berikut disarankan untuk dipasang untuk memantau pergerakan lateral:

- *Indikator gelincir*

Indikator gelincir terdiri dari pipa PVC fleksibel berdiameter 20 mm yang dipasang pada lubang bor, dan dua buah unting-unting seperti diperlihatkan pada Gambar G7. Uning-unting tersebut terdiri dari bandul yang diikatkan pada tali. Pipa harus dipasang sampai beberapa meter masuk ke dalam lapisan keras sehingga pipa kemudian mempunyai tahanan jepit pada ujungnya. Pipa harus cukup fleksibel untuk memungkinkan tertekuk pada bidang gelincir yang mungkin terjadi. Pergerakan lateral dapat dipantau dengan pengukuran ujung atas pipa yang muncul di permukaan atau dengan menaikkan atau menurunkan unting-unting dari atau ke dasar pipa. Jika pipa tertekuk, bandul yang diikatkan ke tali akan terjepit pada lokasi bidang gelincir.

- *Patok geser*

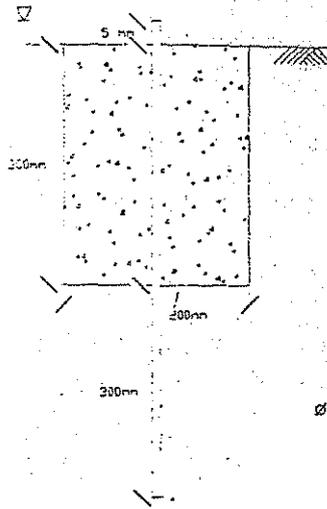
Patok geser terdiri dari patok kayu persegi berukuran 10 sampai 15 cm dengan panjang 100 sampai 200 cm. Patok-patok ini dimasukkan ke dalam tanah dalam bentuk barisan atau kisi-kisi. Pergerakan horisontal dan vertikal diukur terhadap suatu titik tetap di luar daerah pengaruh, dengan menggunakan tali, level atau teodolit.

- *Inklinometer*

Inklinometer terdiri dari pipa lindung penuntun yang dipasang di dalam lapisan tanah, dan torpedo kedap air. Torpedo merupakan transduser yang digerakkan pendulum yang diturunkan penuntun. Pergerakan dihitung dari pengukuran kemiringan pipa lindung pada interval-interval yang telah ditentukan dan profil pipa lindung berbentuk vertikal akan didapat dengan menggabungkan nilai yang diperoleh mulai dari dasar pipa. Pipa lindung harus dipasang secara vertikal dan harus dimasukkan sampai ke lapisan dasar yang kuat (lapisan yang sangat keras atau lapisan pasir yang sangat padat atau dasar batuan), sehingga dasar dari pipa lindung akan bebas dari translasi (dukungan jepit). Lihat Gambar G8.

Alat baca inklinometer, merupakan alat baca yang rumit dan mahal. Biaya yang cukup harus dianggarkan untuk kalibrasi dan perbaikan; sebagai alternatif, pemantauan harus disubkontrakkan kepada pemasok alat.

Elevasi batang  
baja yang  
diturunkan yang  
diukur  
sewaktu-waktu

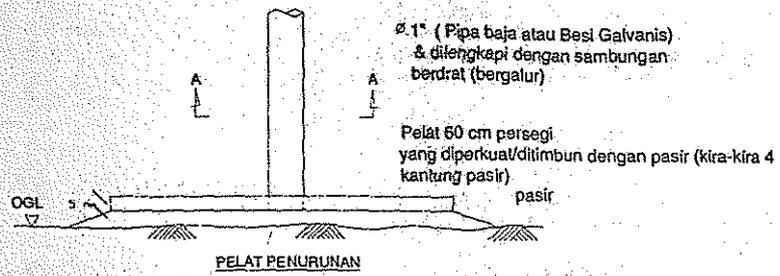


permukaan timbunan yang  
telah selesai

Lubang dalam berukuran 200 x 200 x 300 mm  
yang diisi dengan beton kelas E

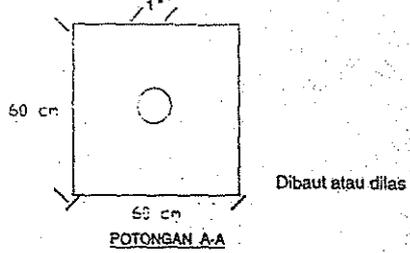
Ø Batang baja dia 20 mm  
panjang 1 m

Gambar G1 Penanda Penurunan Permukaan

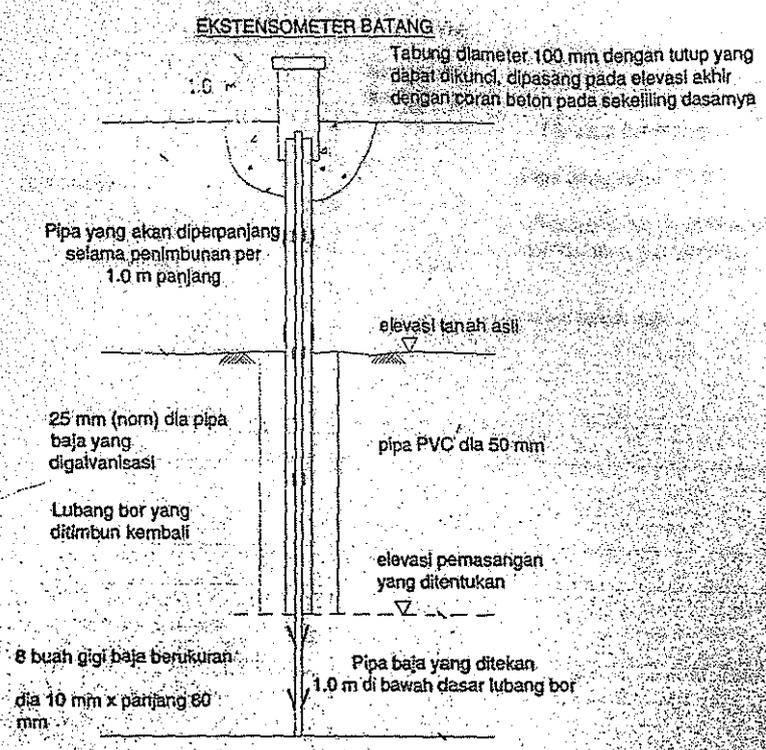


PELAT PENURUNAN

Catatan : Batang dan tabung diperpanjang per satu meter selama konstruksi timbunan

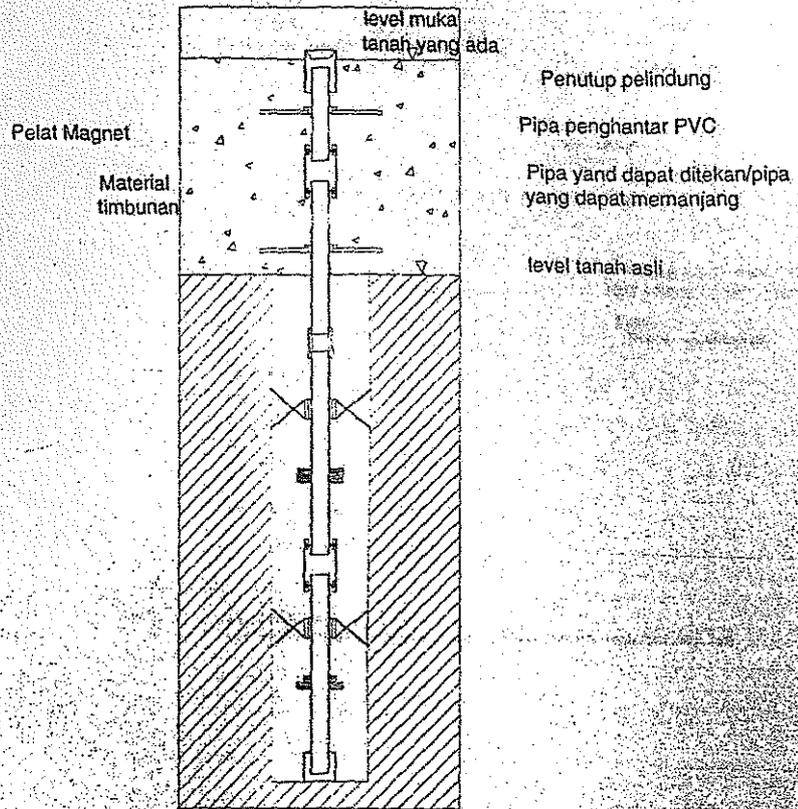


Gambar G2 Pelat Penurunan

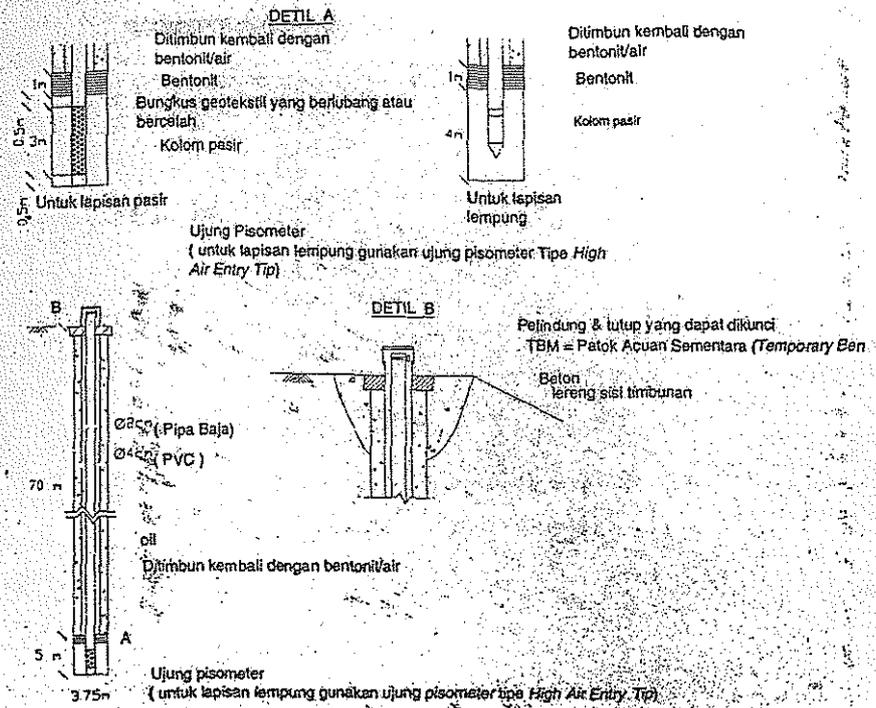


**Gambar G3 Ekstensometer Batang**

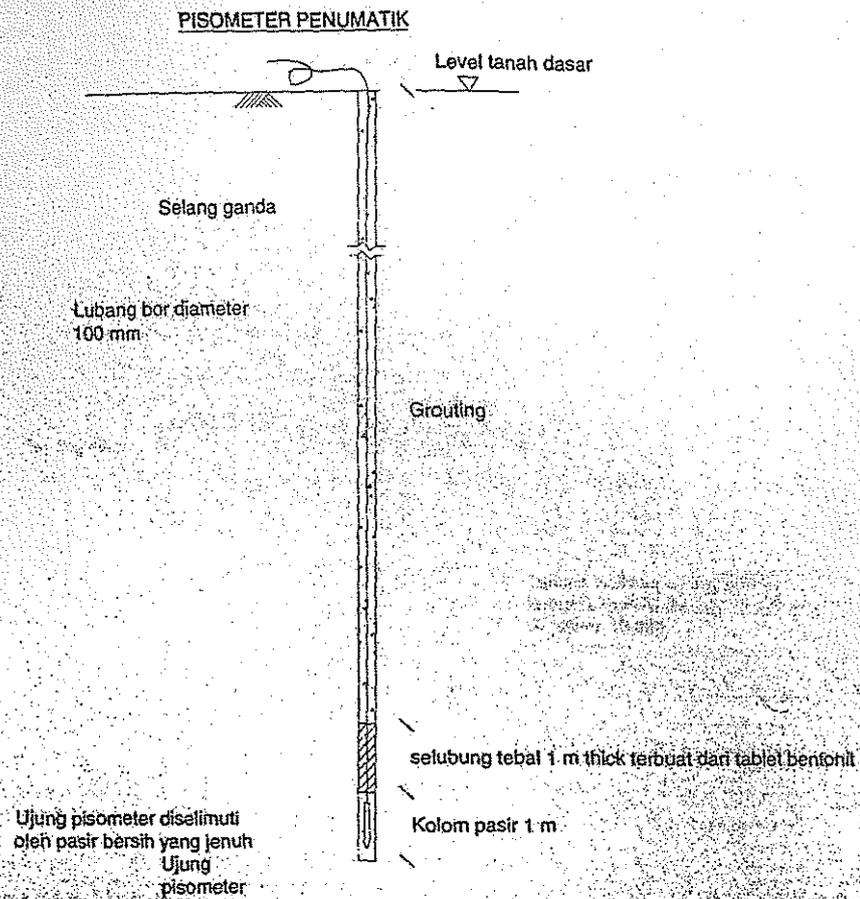
### EKSTENSOMETER MAGNETIK



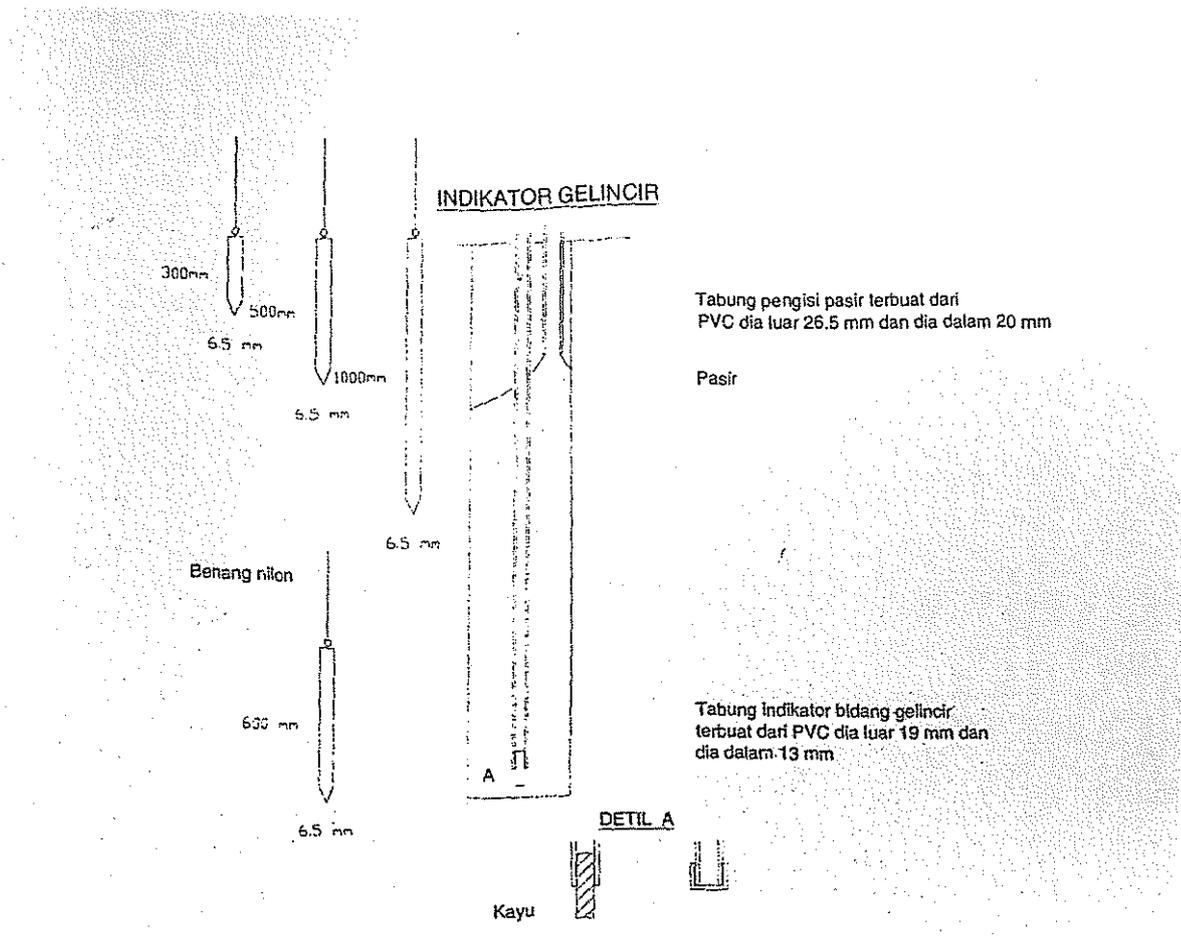
Gambar G4 Ekstensometer Magnetik



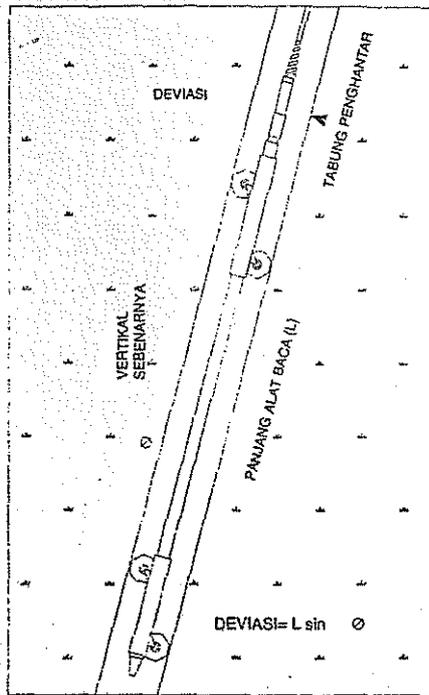
Gambar G5 Datum Dalam & Pisometer Pipa Ukur Tegak



**Gambar G6** Pisometer Penumatik



Gambar G7 Indikator Gelincir



Gambar G8. Inclinometer

## Lampiran H

# Lembar Catatan Pemasangan Instrumentasi

### Catatan Pemasangan Instrumentasi

Proyek	Uji-coba Timbunan di Semarang	Instrumen	IIA/P3
Pemilik Proyek	PPPJJ	Muka tanah asli	+0.98m
Lokasi	Trial IIA	Muka air tanah di bawah muka tanah asli	-0.5m

Catatan pengeboran			
Tanggal 5 Desember 2000			
Kedalaman	Penjelasan	Selubung	Sampel
0.0-1.0	LEMPUNG coklat abu-abu lunak sampai keras	0.0-9.0	9.0D
1.0-9.0	LEMPUNG abu-abu lunak dgn beberapa kulit kerang		

Pemasangan Instrumen			
Tanggal 5 Desember 2000			
Kedalaman	Lgd	Penjelasan	Komentar
0.0		Ujung grout	
3.0	□	Penyambung tabung	
9.0		Dasar grout	
9.5		Ujung atas keramik	
9.8	⌋	Ujung bawah keramik (tip)	

<b>Perincian Instrumen</b>	
Tipe	Pisometer Pneumatik
Pembuat	Geotechnical Instruments Model P359/2 Tipe Push In
Rincian	Ujung akhir diberi sambungan yang mudah dilepas Kelebihan pipa 5 m digulung pada ujung pemasangan untuk mengkompensasi kenaikan timbunan.
Bacaan awal	9.3m
Tanda & Proteksi	Instrumen diberi label dengan label aluminium dengan huruf timbul IIA/P3 yang diikatkan pada sambungan Pagar bambu sementara dipasang (penutup yang bisa dikunci akan dipasang pada permukaan timbunan akhir)
Bahan-bahan	
Grout	10:1 air/OPC dicampur dengan tongkat pengaduk dan dipompa dari dasar lubang bor
Pasir	
Bentonit	
Komentar-komentar	
Ketinggian dari Titik tetap 2.456m Datum berlokasi pada lokasi T1	Nama
Keramik dijemur dengan perendaman di air bersih selama 16 jam	Tanggal Mulai
Rangkaian diuji dengan alat baca sebelum pemasangan OK	Pengebor
WSP International	Teknisi pemasangan
6 Desember 2000	

## 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  
attapulgite  
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  
ceklis  
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  
homogenous  
illite  
index  
plastic index  
plasticity index  
slip indicator  
inclination  
inclinometer  
instrumentation  
jurassic  
quaternary  
drainage path  
saturated  
total friction  
moisture content  
water content  
organic content  
review  
caldera  
calcite  
kaolinite  
axial capacity  
valve  
clay activity  
acidity  
durability

## BAHASA INDONESIA

(lanjutan)

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, kemampuan  
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  
mantle cone  
corridor  
craton  
sample quality  
quarry  
shear strength  
strength  
ultimate shear strength  
tensile strength  
compressive strength  
picnometer  
laminar  
silt  
platform  
field  
insitu  
site  
sub base  
lamina  
substrata  
subsurface  
absorbed layer

## BAHASA INDONESIA

(lanjutan)

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

## ENGLISH

*design brief*  
*supernatant 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*  
*odometer*  
*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  
pemeraan  
pemeraan 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  
pengembangan  
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  
pungguk bukit  
rangkai  
rasio friksi  
rasio pemulihan, angka pemulihan  
rasio Poisson  
rasio susut  
rawa bakau  
rawa hulu  
regangan  
regangan aksial  
rekompresi  
remasan  
rembesan  
rencana, denah  
resen  
residual  
retakan sineresis  
riolit  
rongga udara  
salinitas  
sampel, contoh tanah

## ENGLISH

vertical drain  
investigation  
site investigation  
ground investigation  
curing  
ground improvement  
ground treatment  
return period  
reinforcement  
layering  
permeability  
self boring permeameter  
displacement  
vertical earth displacement  
wet preparation  
dry preparation  
geological map  
topographical map  
casing  
access tube  
standpipe  
pyrophyllite  
pyroxene  
piezometer  
fixed piston  
plagioclase  
planar  
pleistocene  
pliocene  
porosity  
preconsolidation  
self boring pressure meter  
ridge  
creep  
friction ratio  
recovery ratio  
Poisson ratio  
shrinkage ratio  
mangrove swamp  
back marsh  
strain  
axial strain  
recompression  
remoulded  
seepage  
plan  
recent  
residual  
syneresis crack  
rhyolite  
void  
salinity  
sample

## BAHASA INDONESIA

(lanjutan)

saprik  
sedimentasi, pengendapan  
segregasi  
sel beban  
sel 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 down  
suspension  
shrinkage  
thinwall tube  
core barrel  
cone resistance  
skin resistance  
non sustainable  
incombustible  
unsaturated  
non displacement  
undrained  
unconsolidated  
subsoil  
sub grade  
soft soil  
organo-mineral soil  
residual soil  
levee

## BAHASA INDONESIA

(lanjutan)

tata letak  
tegangan  
tegangan deviator  
tegangan geser  
tegangan prinsipal  
tegangan total  
tekanan air pori  
tekanan balik  
tekanan ke atas  
tekanan kekang  
tekanan pori berlebih  
terangkut  
terdrainase  
terganggu  
terkonsolidasi  
terkonsolidasi tak terdrainase  
terkonsolidasi terdrainase  
terkonsolidasi-kurang  
terkonsolidasi-lebih  
terlaminasi  
terlipat  
tiang pancang bor  
timbunan  
timbunan bertiang  
timbunan percobaan  
tinggi tekan tetap  
tinggi tekan turun  
titik penyelidikan  
titik tetap, patok tetap  
topogenos  
torsi  
tracit  
transduser  
tremolil  
triaksial  
triaksial CD  
triaksial CU  
triaksial UU  
triasik  
turap baja  
tutup pipa, tutup ujung  
uji  
uji baling lapangan  
uji dilatometer datar  
uji geser baling  
uji geser langsung  
uji hilang pijar  
uji konsolidasi  
uji pembebanan  
uji penetrasi konus  
uji penetrasi standar  
uji pressuremeter  
uji tekan

## ENGLISH

layout  
stress  
deviator stress  
shear stress  
principal stress  
total stress  
pore water pressure  
back pressure  
uplift pressure  
confining pressure  
excess pore pressure  
transported  
drained  
disturbed  
consolidated  
consolidated undrained, CU  
consolidated drained, CD  
under consolidated  
overconsolidated  
laminated  
folded  
bored pile  
embankment  
piled embankment  
trial embankment  
constant head  
falling head  
exploratory point  
benchmark  
topogenous  
torque  
trachyte  
transducer  
tremolite  
triaxial  
triaxial CD  
triaxial CU  
triaxial UU  
triassic  
sheet pile  
end cap  
test  
field vane test  
flat dilatometer test  
vane shear test  
direct shear test  
loss on ignition test  
consolidation test  
loading test  
cone penetration test  
standard penetration test  
pressuremeter test  
compression test

**BAHASA INDONESIA**  
(lanjutan)

uji tekan bebas  
ujung bertekanan udara tinggi  
unit tanah  
variasi litologi  
vermikulit  
wadah contoh tanah  
zona  
zonasi

**ENGLISH**

*unconfined compression test*  
*high air entry tip*  
*soil unit*  
*lithological variation*  
*vermiculite*  
*sample container*  
*zone*  
*zoning*