

PEDOMAN

Konstruksi dan Bangunan

**Stabilisasi Dangkal Tanah Lunak
untuk Konstruksi Timbunan Jalan
(dengan Semen dan Cerucuk)**



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM

Daftar isi

Daftar isi	i
Daftar Gambar	iii
Daftar Tabel	iii
Pra kata	iv
Pendahuluan	v
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	2
3.1 penurunan awal	2
3.2 penurunan konsolidasi primer	2
3.3 stabilisasi dangkal	3
3.4 stabilisasi dangkal dengan menggunakan semen	3
3.5 stabilisasi dangkal dengan menggunakan tiang cerucuk	3
3.6 tanah lunak	3
4 Stabilisasi dangkal	3
4.1 Penggunaan stabilisasi dangkal	3
4.2 Karakteristik stabilisasi dangkal	4
4.3 Penerapan stabilisasi dangkal di Indonesia	5
5 Prinsip dan parameter desain	6
5.1 Prinsip desain	6
5.2 Pendekatan desain stabilisasi dangkal	6
5.2.1 Daya dukung tanah	6
5.2.2 Tipe-tipe tiang cerucuk	8
5.2.3 Daya dukung tiang cerucuk	8
5.2.4 Faktor keamanan	9
5.2.5 Penurunan timbunan	9
5.2.6 Stabilitas timbunan	10
5.3 Batasan penggunaan teknik stabilisasi dangkal	11
5.4 Mekanisme teknik stabilisasi dangkal	11
6 Penyelidikan geoteknik	13
6.1 Umum	13
6.2 Pemetaan topografi dan geologi lokal	13
6.3 Penyelidikan lapangan	13
6.4 Pengujian laboratorium	13
7 Perencanaan stabilisasi dangkal	16
7.1 Perencanaan kebutuhan stabilisasi dangkal	16
7.2 Perencanaan stabilisasi dangkal dengan semen	16

7.3	Perencanaan stabilisasi dangkal dengan semen dan tiang cerucuk.....	19
7.4	Perencanaan campuran tanah yang distabilisasi.....	20
7.4.1	Perencanaan campuran.....	20
7.4.2	Pengujian klasifikasi tanah.....	21
8	Pelaksanaan stabilisasi dangkal.....	22
9	Instrumen geoteknik dan pemantauan.....	27
9.1	Tipe instrumentasi geoteknik.....	27
9.2	Pemantauan instrumen geoteknik.....	28
9.3	Hambatan.....	30
9.4	Penyajian hasil pemantauan.....	30
10	Penyelidikan pascakonstruksi.....	30
Lampiran A	(Informatif) Analisis stabilitas timbunan dengan Metode Elemen Hingga (MEH).....	31
Lampiran B	(Informatif) Contoh formulir pemantauan instrumen geoteknik.....	33
Lampiran C	(Informatif) Modeling geometrik penurunan.....	43
Lampiran D	(Informatif) Peta penyebaran tanah lunak di Indonesia.....	55
Lampiran E	(Informatif) Daftar nama dan lembaga.....	56
Bibliografi	57

Daftar Gambar

Gambar 1	Teknik stabilisasi dangkal di bawah timbunan badan jalan	4
Gambar 2	Grafik faktor daya dukung (Terzaghi)	7
Gambar 3	Grafik penentuan nilai p_c' prosedur Casagrande.....	10
Gambar 4	Mekanisme teknik stabilisasi dangkal.....	12
Gambar 5	Analisis stabilitas untuk menentukan kebutuhan kuat geser lapisan tanah yang distabilisasi	16
Gambar 6	Analisis stabilisasi lereng untuk stabilitas dangkal.....	17
Gambar 7	Stabilisasi dangkal dengan semen dan cerucuk.....	17
Gambar 8	Prosedur perencanaan teknik stabilisasi dangkal dengan/ tanpa tiang cerucuk.....	18
Gambar 9	Metodologi pencampuran semen	21
Gambar 10	Pengujian kuat tekan bebas untuk menentukan rasio pencampuran yang dibutuhkan.....	22
Gambar 11	Penyebaran bahan penstabilisasi.....	23
Gambar 12	Pencampuran.....	23
Gambar 13	Pemasangan cerucuk.....	24
Gambar 14	Pemadatan.....	24
Gambar 15	Perawatan.....	25
Gambar 16	Pengujian kualitas	25
Gambar 17	Tahapan konstruksi pada teknik stabilisasi dangkal	26
Gambar 18	Tata letak instrumen geoteknik untuk timbunan di atas tanah lunak	29

Daftar Tabel

Tabel 1	Kinerja stabilisasi dangkal	5
Tabel 2	Nilai-nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi.....	7
Tabel 3	Faktor Keamanan.....	9
Tabel 4	Penyelidikan lapangan	14
Tabel 5	Pengujian laboratorium	15
Tabel 6	Batas-batas penurunan untuk timbunan pada umumnya.....	19
Tabel 7	Kebutuhan instrumentasi.....	27

Prakata

Pedoman stabilisasi dangkal tanah lunak untuk konstruksi timbunan jalan ini merupakan hasil kegiatan litbang pada Balai Geoteknik Jalan dan dipersiapkan oleh Panitia Teknik Standardisasi Bidang Konstruksi dan Bangunan melalui Gugus Kerja Balai Geoteknik Jalan pada Sub Panitia Teknik Standardisasi Bidang Prasarana Transportasi. Pedoman ini diprakarsai oleh Pusat Litbang Prasarana Transportasi, Badan Litbang Ex. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Pedoman ini memberikan keseragaman dalam perencanaan, pelaksanaan stabilisasi dangkal sebagai perbaikan tanah lunak dengan pembahasan tentang syarat-syarat, pertimbangan desain, parameter desain, perencanaan dan pemilihan jenis stabilisasi, prosedur pelaksanaan dan instrumentasi geoteknik. Penggunaan pedoman ini masih harus dipadukan dengan pedoman atau petunjuk atau peraturan-peraturan lain yang berlaku.

Tata cara penulisan ini disusun mengikuti Pedoman BSN No. 8 tahun 2000 dan dibahas dalam forum konsensus yang melibatkan narasumber dan pihak terkait Prasarana Transportasi sesuai ketentuan Pedoman BSN No. 9 tahun 2000.

Pendahuluan

Stabilisasi tanah dengan menggunakan semen pertama kali dilakukan di Amerika Serikat pada tahun 1935 dan sejak itu penggunaannya berkembang cukup pesat. Pondasi bangunan untuk rumah dan bangunan pabrik di Amerika dan Afrika Selatan hingga tahun 1949 yang didirikan diatas tanah dengan kondisinya kurang baik, banyak menggunakan cara-cara stabilisasi dangkal memakai semen. Selama Perang Dunia, beberapa negara menggunakan stabilisasi tanah dengan semen untuk konstruksi lapangan terbang. Pasca-Perang Dunia II penggunaan stabilisasi dangkal berkembang tidak terbatas untuk bangunan tempat tinggal atau bangunan pabrik akan tetapi juga di pakai untuk stabilisasi tanah dasar pada bangunan jalan-jalan lingkungan perumahan serta fondasi bawah (*subbase*) jalan raya. Untuk keperluan dinding saluran samping, kanal dan reservoir khususnya di lingkungan perkebunan di Amerika pada saat itu stabilisasi tanahnya menggunakan semen cair atau biasa disebut dengan stabilisasi semen plastis yang berupa mortar.

Adapun stabilisasi tanah dengan menggunakan tiang kayu telah dilakukan sejak dulu oleh masyarakat kita di pedalaman akan tetapi masih terbatas hanya untuk menopang bangunan rumah yang sederhana. Pada abad ke-19, pemanfaatan tiang kayu ataupun tiang dengan bahan material lainnya sebagai konstruksi cerucuk semakin berkembang tidak terbatas hanya untuk bangunan rumah sederhana saja, akan tetapi untuk bangunan lainnya seperti : jembatan, bangunan, bendung dan lain-lain.

Stabilisasi dangkal tanah lunak untuk konstruksi timbunan jalan

1 Ruang lingkup

Pedoman ini memberikan petunjuk mengenai prinsip-prinsip penggunaan stabilisasi dangkal dengan semen atau cerucuk dalam pembuatan konstruksi timbunan untuk jalan yang meliputi :

- 1) kriteria penggunaan stabilisasi dangkal tanah lunak dengan semen atau cerucuk untuk desain timbunan jalan serta evaluasi dan aplikasinya pada timbunan jalan yang mengalami prakompresi;
- 2) informasi tentang jenis dan karakteristik stabilisasi dangkal dengan semen atau cerucuk serta pembahasan parameter tanah;
- 3) interpretasi kondisi dan cara pemasangan serta desain stabilisasi dangkal dengan semen atau cerucuk;
- 4) petunjuk praktis dalam evaluasi, desain dan pelaksanaan serta pengawasan timbunan jalan yang menggunakan stabilisasi dangkal dengan semen atau cerucuk.

2 Acuan normatif

- SNI 03-1964-1990, *Metode pengujian berat jenis tanah*
- SNI 03-1965-1990, *Metode pengujian kadar air tanah*
- SNI 03-1966-1990, *Metode pengujian batas plastis*
- SNI 03-1967-1990, *Metode pengujian batas cair dengan alat cassagrande*
- SNI 03-2435-1991, *Metode pengujian laboratorium tentang kelulusan air untuk contoh tanah*
- SNI 03-2455-1991, *Metode pengujian triaksial A*
- SNI 06-2487-1991, *Metode pengujian lapangan kekuatan geser baling pada tanah berkohesi*
- SNI 03-2812-1992, *Metode pengujian konsolidasi tanah satu dimensi*
- SNI 03-2813-1992, *Metode pengujian geser langsung tanah terkonsolidasi dengan drain*
- SNI 03-2827-1992, *Metode pengujian lapangan dengan sondir*
- SNI 03-2832-1992, *Metode pengujian untuk mendapatkan kepadatan tanah maksimum dengan kadar air maksimum*
- SNI 03-4813-1993, *Metode pengujian triaksial untuk tanah kohesif dalam keadaan tanpa konsolidasi dan drain*
- SNI 03-3420-1994, *Metode pengujian geser langsung tanah tidak terkonsolidasi tanpa drain*
- SNI 03-3422-1994, *Metode pengujian batas susut tanah*
- SNI 03-3423-1994, *Metode pengujian analisis ukuran butir tanah dengan alat hidrometer*
- SNI 03-3438-1994, *Tata cara pembuatan rencana stabilisasi tanah dengan semen portland untuk jalan*

- SNI 03-3440-1994, *Tata cara pelaksanaan stabilisasi tanah dengan semen portland untuk jalan*
- SNI 03-3442-1994, *Tata cara pemasangan pisometer pipa terbuka casagrande*
- SNI 03-3443-1994, *Tata cara pemantauan tekanan air pori dengan pisometer pipa terbuka casagrande*
- SNI 03-3452-1994, *Tata cara pemasangan pisometer penumatik*
- SNI 03-3453-1994, *Tata cara pemantauan tekanan air pori dengan alat pisometer penumatik*
- SNI 03-3454-1994, *Tata cara pemasangan instrumen magnetis untuk mengukur gerakan vertikal tanah*
- SNI 03-3455-1994, *Tata cara pemantauan gerakan vertikal tanah dengan menggunakan instrumen magnetis*
- SNI 03-3638-1994, *Metode pengujian kuat tekan bebas tanah kohesif*
- SNI 03-4153-1996, *Metode pengujian penetrasi SPT*
- SNI 03-2828-1997, *Metode pengujian kepadatan lapangan dengan alat konus pasir*
- SNI 03-1744-1989, *Metode pengujian CBR laboratorium*
- Pt T-08-2002-B, *Panduan geoteknik 1: Proses pembentukan dan sifat-sifat dasar tanah lunak*
- Pt T-09-2002-B, *Panduan geoteknik 2: Penyelidikan tanah lunak, desain dan pekerjaan lapangan*
- Pt T-10-2002-B, *Panduan geoteknik 4: Desain dan konstruksi*
- Pt T-11-2002-B, *Panduan geoteknik 3: Pengujian tanah lunak, pengujian laboratorium*

3 Istilah dan definisi

Istilah dan definisi yang digunakan dalam pedoman ini sebagai berikut :

3.1

penurunan awal

penurunan yang terjadi selama beban bekerja yang mengakibatkan tekanan air pori berlebih pada lapisan tanah bawah permukaan. Apabila lapisan tanah relatif tebal dengan permeabilitas rendah, maka kelebihan tekanan pori tidak teralirkan. Tanah ini mengalami deformasi akibat tegangan geser meskipun tidak terjadi perubahan volume, sehingga penurunan vertikal akan terjadi seiring dengan pengembangan lateral

3.2

penurunan konsolidasi primer

penurunan yang terjadi seiring dengan waktu di mana kelebihan tekanan pori dapat diabaikan karena adanya drainase. Perubahan volume serta penurunan terjadi akibat tekanan pori dan tegangan efektif tanah. Laju konsolidasi ini ditentukan oleh lajunya pengaliran air akibat gradien hidraulik yang tergantung pada karakteristik tanah, batasan lokal dan kontinuitas aliran drainase

3.3

stabilisasi dangkal

teknik stabilisasi untuk tanah lunak yang berada di dekat permukaan dengan cara mencampur dengan bahan stabilisasi semen atau menggunakan tiang cerucuk (*short-piles*) untuk peningkatan daya dukung tanah

3.4

stabilisasi dangkal dengan menggunakan semen

teknik stabilisasi dangkal pada tanah lempungan dengan bahan stabilisasi yang digunakan adalah semen dengan persentase campuran tertentu, berfungsi sebagai perbaikan tanah lunak, sedalam maksimum 1 meter dari permukaan tanah

3.5

stabilisasi dangkal dengan menggunakan tiang cerucuk

teknik stabilisasi dangkal pada tanah lunak dengan menggunakan tiang cerucuk (*short-piles*) berfungsi untuk menyebarkan tegangan ke lapisan tanah yang lebih dalam. Teknik ini digunakan pada tanah lunak

3.6

tanah lunak

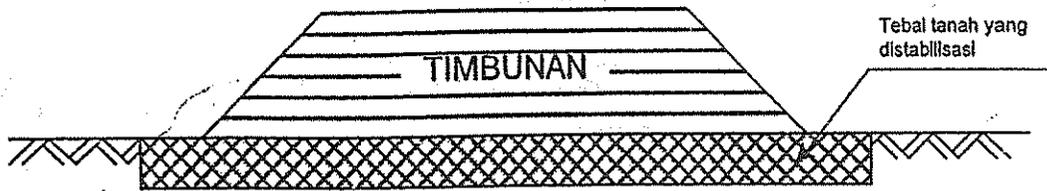
tanah yang memiliki kuat geser undrained lapangan kurang dari 40 kPa dan kompresibilitas tinggi

4 Stabiliisasi dangkal

4.1 Penggunaan stabilisasi dangkal

Stabilisasi dangkal merupakan teknik stabilisasi yang sering diterapkan di bidang jalan terutama untuk mengubah sifat-sifat tanah dasar (*subgrade*) atau lapis fondasi bawah (*subbase*) agar dapat memenuhi standar persyaratan teknik. Dengan kemajuan teknologi di bidang geoteknik, saat ini penggunaan stabilisasi dangkal telah berkembang dan digunakan untuk memperbaiki lapisan tanah lunak yang berada di bawah permukaan. Stabilisasi dangkal yang digunakan pada lapisan bawah permukaan ini bertujuan untuk meningkatkan daya dukung tanah yang rendah dan mengurangi sifat kompresibel/mampat serta mengurangi besarnya penurunan timbunan badan jalan.

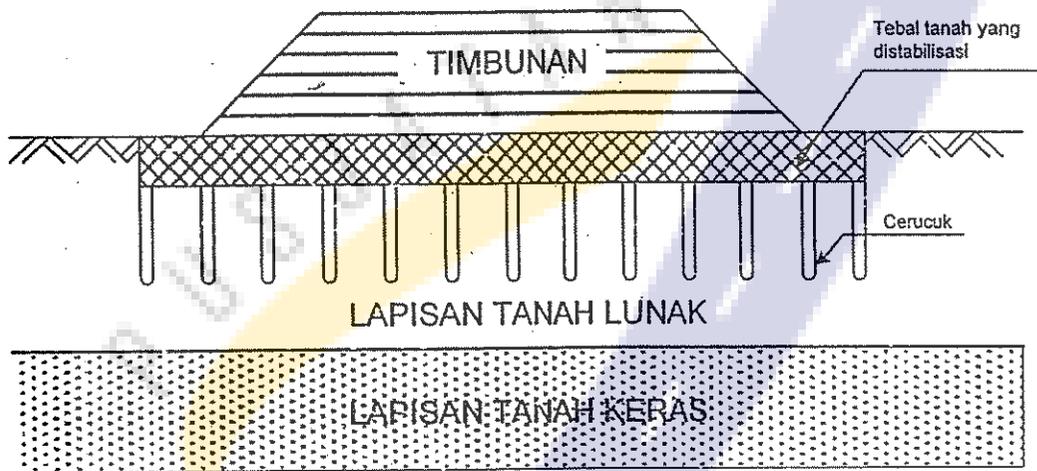
Tipe-tipe stabilisasi dangkal yang dipasang di bawah timbunan diperlihatkan pada Gambar 1.



LAPISAN TANAH LUNAK



(a) Stabilisasi dangkal dengan menggunakan semen



(b) Stabilisasi dangkal dengan menggunakan tiang kayu

Gambar 1 Teknik stabilisasi dangkal di bawah timbunan badan jalan

4.2 Karakteristik stabilisasi dangkal

Dari segi kinerja, stabilisasi dangkal dapat mengurangi penurunan total dan perbedaan penurunan, deformasi lateral, serta meningkatkan stabilitas fondasi, baik jangka pendek maupun jangka panjang.

Perbandingan karakteristik dari macam-macam teknik stabilisasi dangkal ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1 Kinerja stabilisasi dangkal

Tipe Stabilisasi Dangkal	Potensi Penurunan Total	Potensi Deformasi Lateral	Potensi Stabilitas Fondasi	Potensi Kecepatan Penimbunan	Blaya
Tanpa stabilisasi dangkal	Besar	Besar	Sangat tidak stabil	Lambat	Rendah
Stabilisasi dangkal	Sedang	Cukup Stabil	Cukup Stabil	Sedang	Sedang
Stabilisasi dangkal + cerucuk yang renggang (jarak antarcerucuk > 3,5 x diameter cerucuk)	Agak kecil	Stabil	Stabil	Agak cepat	Tinggi
Stabilisasi dangkal + cerucuk yang rapat (jarak antarcerucuk \leq 3,5 x diameter cerucuk)	Kecil	Lebih stabil	Lebih stabil	Cepat	Sangat tinggi

4.3 Penerapan stabilisasi dangkal di Indonesia

Tanah lunak di Indonesia bervariasi mulai dari tanah inorganik, organik sampai gambut, sehingga masing-masing tipe tanah memiliki karakteristik yang berbeda sehingga efektivitas stabilisasi dangkal pun akan berbeda pula. Material pencampur yang digunakan untuk menstabilisasi lapisan permukaan akan berbeda pula untuk tiap jenis tanah. Stabilisasi dangkal, baik stabilisasi dengan menggunakan bahan semen atau kapur maupun menggunakan tiang cerucuk telah banyak diterapkan hampir di seluruh daerah di Indonesia seperti di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Penggunaan stabilisasi dangkal ini terutama untuk keperluan konstruksi jalan raya pada daerah yang miskin material agregat atau pada daerah tanah lunak.

Stabilisasi tanah lunak dengan semen atau kapur dilakukan dalam peningkatan jalan-jalan pada daerah tanah lunak dengan kedalaman yang relatif tidak dalam, sedangkan stabilisasi pada tanah lunak dengan cerucuk untuk jalan yang melalui daerah berawa atau tanah lunak yang relatif agak dalam.

1 Prinsip desain

Dalam penerapan metode perbaikan tanah lunak dengan cara meningkatkan kekuatannya, teknik stabilisasi dangkal merupakan langkah pertama sebagai pendekatan yang layak dalam suatu proyek. Salah satu faktor yang sangat penting dalam penentuan ini adalah riwayat tegangan tanah, misalnya apabila tanah telah mengalami prakompresi lebih dahulu sehingga tanah masih dalam kondisi/keadaan konsolidasi berlebih maka penggunaan stabilisasi dangkal kemungkinan tidak diperlukan.

1.2 Pendekatan desain stabilisasi dangkal

Pendekatan desain yang digunakan dalam stabilisasi dangkal adalah sebagai berikut:

5.2.1 Daya dukung tanah

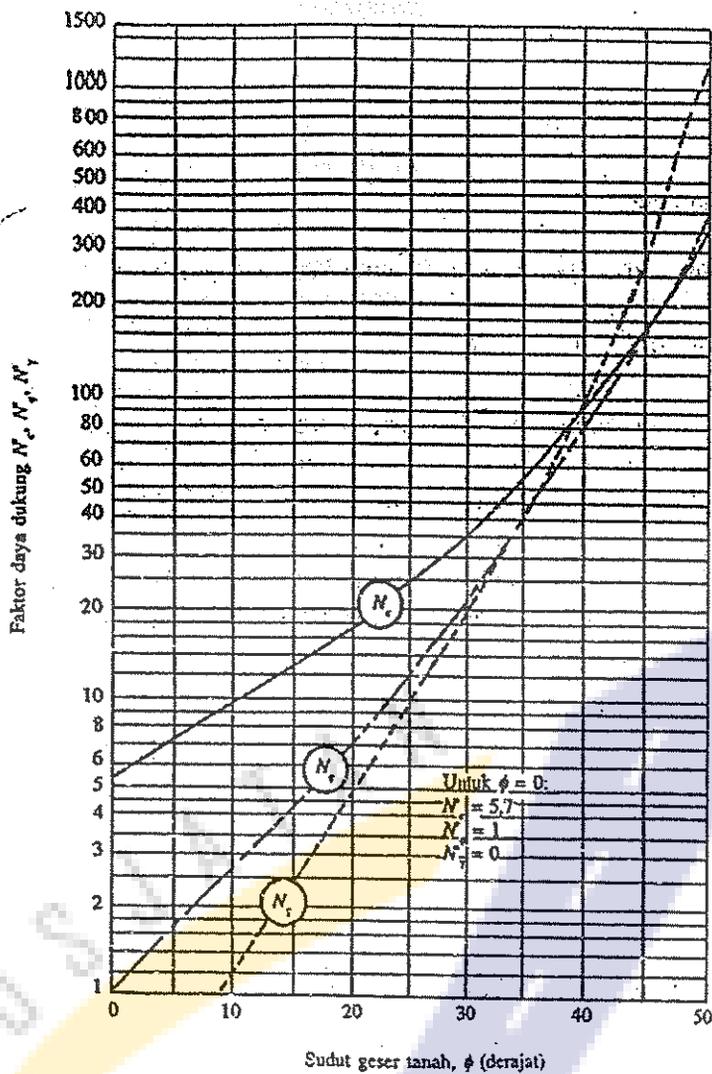
Untuk menghitung besarnya daya dukung tanah dapat menggunakan persamaan :

$$Q_u = cN_c + \gamma DN_q + 0,5BN_r \quad (1)$$

dengan pengertian:

- Q_u adalah daya dukung tanah (kPa)
- c adalah kohesi (kPa)
- γ adalah berat isi tanah (kN/m^3)
- D adalah kedalaman tanah yang ditinjau (m)
- B adalah lebar fondasi atau timbunan (m)
- N_c, N_q, N_r adalah faktor daya dukung

Faktor daya dukung berdasarkan besarnya sudut geser dalam tanah (ϕ) diperoleh dari grafik (Gambar 2) dan Tabel 2 yang dikembangkan oleh Terzaghi berikut ini.



Sumber: Braja M. Das, Buku Mekanika Tanah 2

Gambar 2 Grafik faktor daya dukung (Terzaghi)

Tabel 2 Nilai-nilai faktor daya dukung tanah Terzaghi

ϕ	Keruntuhan geser umum			Keruntuhan geser lokal		
	N_c	N_q	N_γ	N_c'	N_q'	N_γ'
0	5,7	1	0	5,7	1	0
5	7,3	1,6	0,5	6,7	1,4	0,2
10	9,6	2,7	1,2	8	1,9	0,5
15	12,9	4,4	2,5	9,7	2,7	0,9
20	17,7	7,4	5	11,8	3,9	1,7
25	25,1	12,7	9,7	14,8	5,6	3,2
30	37,2	22,5	19,7	19	8,3	5,7
34	52,6	36,5	35	23,7	11,7	9
35	57,8	41,4	42,4	25,2	12,6	10,1
40	95,7	81,3	100,4	34,9	20,5	18,8
45	172,3	173,3	297,5	51,2	35,1	37,7
48	258,3	287,9	780,1	66,8	50,5	60,4
50	347,6	415,1	1153,2	81,3	65,6	87,1

5.2.2 Tipe-tipe tiang cerucuk

- Tiang kayu cerucuk

Biasanya tiang yang digunakan berukuran panjang 4-6 m dengan diameter 10 cm.

- Tiang beton

Untuk tanah lunak yang lebih dalam, dan bila kapasitas daya dukung beban yang lebih besar diperlukan, penggunaan dari tiang beton pracetak lebih cocok. Tiang pracetak berbentuk persegi atau segitiga dengan sisi berukuran 10-40 cm, akan memberikan kapasitas daya dukung yang cukup besar.

5.2.3 Daya dukung tiang cerucuk

Untuk menghitung besarnya daya dukung tiang cerucuk dapat menggunakan persamaan:

- Daya dukung tiang cerucuk tunggal:

$$Q_v = Q_s^* + Q_b^* \quad (2)$$

$$Q_s^* = \sum F_c K_c^R c_u C_p L_i \quad (3)$$

$$Q_b^* = N_c c_u^* A_b \quad (4)$$

dengan pengertian:

Q_v adalah daya dukung vertikal rencana

Q_s^* adalah daya dukung oleh tahanan sekeliling tiang

Q_b^* adalah daya dukung oleh tahanan ujung tiang

F_c adalah koefisien terganggu

K_c^R adalah faktor reduksi kekuatan

c_u adalah kuat geser undrained tanah (kPa, kg/cm²)

C_p adalah keliling efektif tiang (m, cm)

L_i adalah panjang tiang (m, cm)

N_c adalah faktor daya dukung

c_u^* adalah kuat geser rencana undrained (kPa, kg/cm²)

A_b adalah luas penampang ujung tiang (m², cm²)

- Daya dukung kelompok tiang cerucuk

$$\text{Jika } S \geq 3,5D \text{ maka } Q_{v,k} = Q_v \cdot n \cdot \eta, \text{ di mana } \eta = \frac{Q_{v,k}}{\sum Q_v} \quad (5)$$

$$\text{Jika } S < 3,5D \text{ maka } Q_{v,k} = Q_v \cdot n \quad (6)$$

dengan pengertian:

S adalah jarak antartiang

D adalah diameter tiang

$Q_{v,k}$ adalah daya dukung kelompok cerucuk

n adalah jumlah tiang

η adalah faktor efisiensi kelompok cerucuk

5.2.4 Faktor keamanan

Faktor keamanan harus dimasukkan dalam analisis stabilitas timbunan untuk mengurangi risiko 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. Besarnya faktor keamanan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3 Faktor Keamanan

Kelas jalan	Faktor keamanan
I & II	1,4
III & IV	1,3

5.2.5 Penurunan timbunan

Teori konsolidasi Terzaghi banyak digunakan dalam memperkirakan penurunan jangka panjang pada timbunan yang dibangun di atas tanah lunak. Apabila besarnya penurunan konsolidasi melebihi kriteria yang ditetapkan oleh perencana, maka kemungkinan stabilisasi dangkal dibutuhkan untuk mengurangi penurunan tersebut. Persamaan untuk menentukan besarnya penurunan konsolidasi ditunjukkan seperti di bawah ini:

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{P_2'}{P_1'} \quad (7)$$

Untuk lempung *normally consolidated*,

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \quad (8)$$

Untuk lempung *overconsolidated*,

(a) Bila $p_o' + \Delta p < p_c'$ maka:

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'} \quad (9)$$

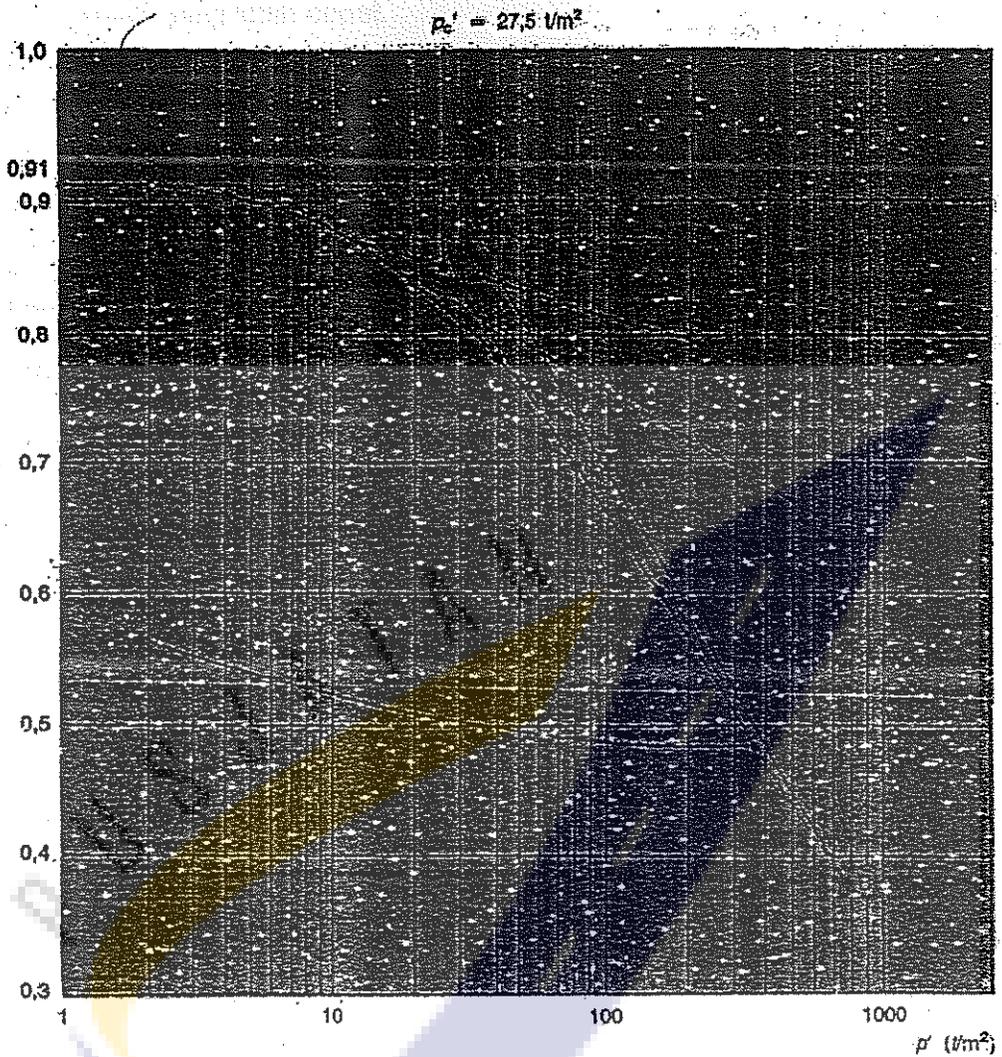
(b) Bila $p_o' + \Delta p > p_c'$ maka:

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_c'}{p_o'} + C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{p_o' + \Delta p}{p_c'} \quad (10)$$

dengan pengertian:

- S_c adalah penurunan konsolidasi (m)
- H adalah ketebalan lempung lunak (m)
- e_0 adalah angka pori awal lempung lunak
- C_r adalah indeks rekompresi lempung lunak
- C_c adalah indeks kompresi lempung lunak
- p_o' adalah tekanan overburden efektif awal
- p_c' adalah tekanan prakonsolidasi
- Δp adalah tambahan tegangan

Nilai p_c' dapat dicari dengan menggunakan grafik konsolidasi dengan cara grafis (prosedur Casagrande) seperti Gambar 3 berikut ini.



Sumber: Hary Christiady Hardiyatmo, Mekanika Tanah II

Gambar 3 Grafik penentuan nilai p_c' prosedur Casagrande

5.2.6 Stabilitas timbunan

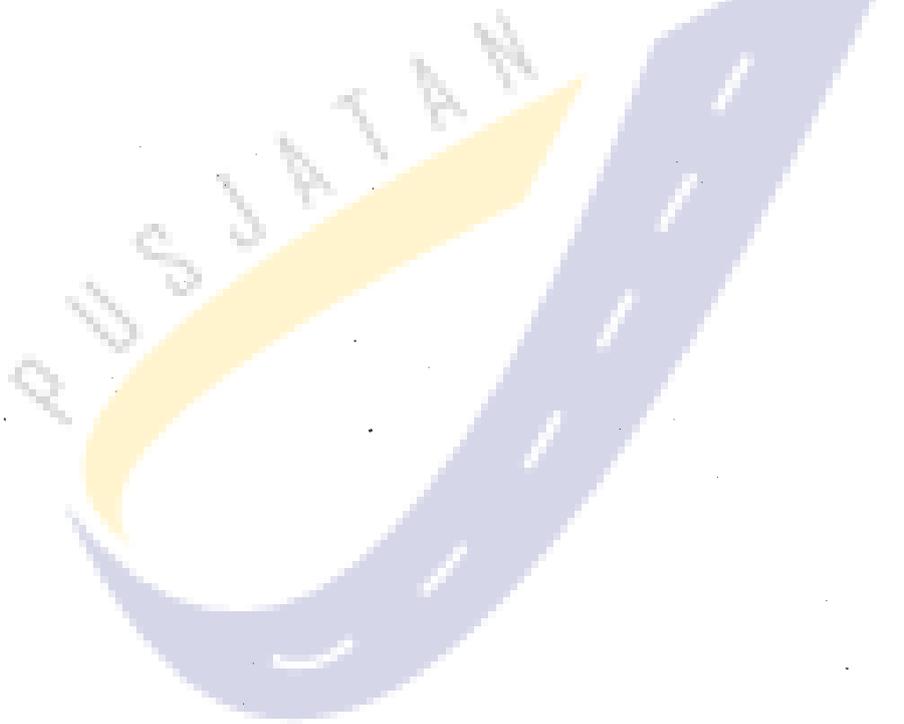
Stabilitas fondasi diperiksa melalui analisis stabilitas lereng yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Metode Taylor atau Bishop telah umum digunakan untuk memeriksa faktor keamanan dari timbunan yang dimaksud. Faktor keamanan tersebut diambil sesuai dengan kelas jalan seperti yang tercantum dalam Tabel 3. Tetapi faktor keamanan sebesar 1,3 umumnya merupakan syarat minimum untuk pembebanan jangka pendek. Apabila faktor keamanan lebih kecil dari 1,3 maka stabilisasi dangkal kemungkinan digunakan untuk meningkatkan batas aman terhadap stabilitas fondasi.

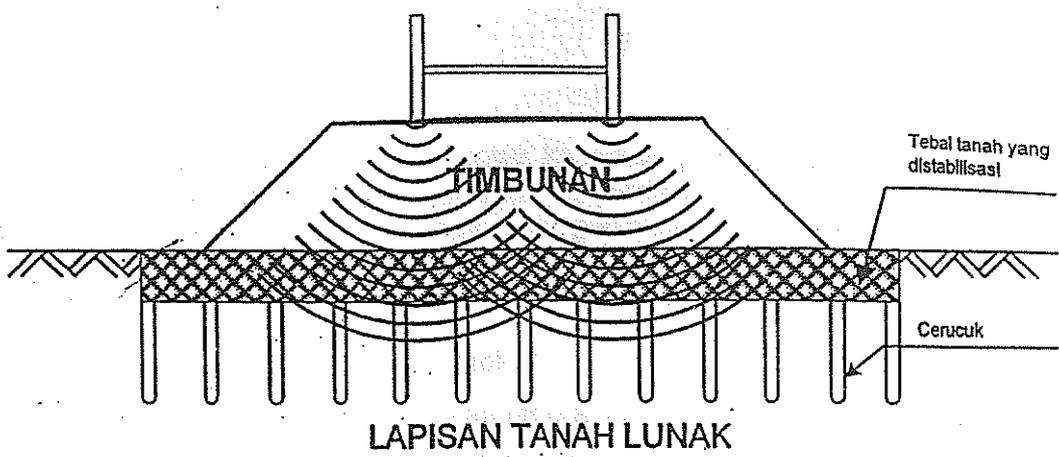
5.3 Batasan penggunaan teknik stabilisasi dangkal

Teknik stabilisasi dangkal mempunyai keterbatasan dalam aplikasinya yaitu bahwa teknik ini tidak ditujukan untuk menghilangkan penurunan secara keseluruhan, tetapi hanya berfungsi sebagai memperkecil penurunan. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa teknik stabilisasi dangkal dapat mengurangi penurunan total dan meminimalisasi perbedaan penurunan serta membantu meningkatkan stabilitas fondasi sehingga didapat timbunan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih cepat.

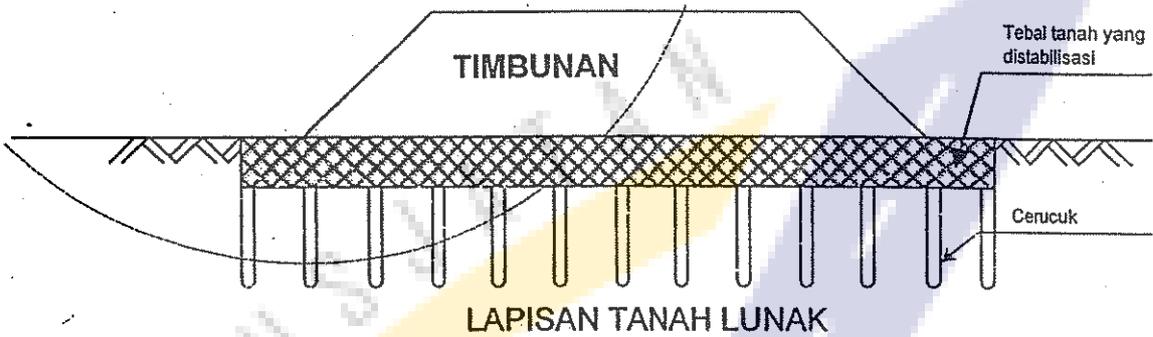
5.4 Mekanisme teknik stabilisasi dangkal

Teknik stabilisasi dangkal mempunyai prinsip untuk memanfaatkan distribusi tegangan dangkal di bawah beban lalu lintas, yaitu meningkatkan kekuatan lapisan tanah untuk mendapatkan kapasitas dukung yang lebih baik. Stabilisasi dangkal juga berpengaruh terhadap peningkatan stabilitas kemiringan lereng timbunan badan jalan atau jalan kereta api yang dibangun pada tanah lunak. Sistem stabilisasi dengan menggunakan kombinasi antara stabilisasi semen dengan tiang cerucuk, juga akan memperkecil penurunan dengan cara menyalurkan tegangan ke lapisan tanah yang lebih dalam. Gambar 4 menggambarkan mekanisme teknik stabilisasi dangkal.

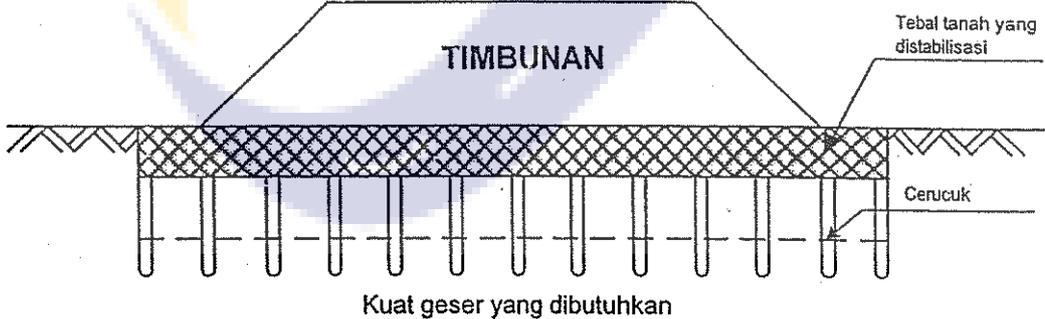




(a) Distribusi tegangan



(b) Meningkatkan stabilitas jangka pendek



(c) Mengurangi penurunan

Gambar 4 Mekanisme teknik stabilisasi dangkal

6 Penyelidikan geoteknik

6.1 Umum

Penyelidikan geoteknik yang dilakukan untuk keperluan perencanaan stabilisasi dangkal ini meliputi pemetaan topografi dan geologi lokal, penyelidikan lapangan dan pengujian tanah di laboratorium. Namun demikian, tenaga ahli geoteknik yang ditunjuk dapat membuat penyesuaian mengenai kuantitas penyelidikan geoteknik apabila ahli geoteknik tersebut memiliki data-data yang memadai sesuai kondisi lapangan.

6.2 Pemetaan topografi dan geologi lokal

Sebelum penyelidikan detail lapangan dan laboratorium dilakukan, terlebih dahulu dilakukan penyelidikan awal untuk mempelajari kondisi daerah setempat yang meliputi: pemetaan topografi, geologi permukaan serta sejarah konstruksi jalan, bila jalan tersebut telah dibuat atau telah ada sebelumnya. Kondisi topografi merupakan bagian dari penyelidikan lapangan dan merupakan hal yang penting bila menyangkut daerah yang luas. Satu hal lainnya yang perlu diperhatikan adalah pemilihan titik Bench Mark, yaitu titik tetap yang permanen dan berfungsi untuk mengikat titik-titik lainnya seperti permukaan jalan dan permukaan tanah pada pengeboran.

Pemetaan kondisi geologi lokal di sekitar rencana lokasi proyek secara umum meliputi: geologi permukaan, lembah geologi dan sungai, gerakan tanah, mata air dan rembesan, singkapan ataupun nendatan. Di samping itu diperlukan juga data lainnya dari setiap hubungan antar stratigrafi yang menyebabkan masalah rembesan, kehilangan air atau keruntuhan timbunan badan jalan.

6.3 Penyelidikan lapangan

Penyelidikan lapangan dilakukan untuk mendapatkan informasi lapisan tanah bawah permukaan, di mana data ini sangat diperlukan baik dalam perencanaan, penanggulangan maupun dalam pelaksanaan. Penyelidikan ini bertujuan untuk mengetahui jenis tanah, kedalaman lapisan tanah keras, kekuatan serta konsistensi pada setiap lapisan.

Metode serta kegunaan masing-masing jenis penyelidikan lapangan dijelaskan pada Tabel 4.

6.4 Pengujian laboratorium

Tujuan dilakukan pengujian laboratorium adalah untuk memperoleh data mengenai sifat fisik maupun sifat teknik dari tanah yang bersangkutan. Pengujian laboratorium dilakukan terhadap contoh tanah, baik terganggu maupun tidak terganggu.

Jenis-jenis pengujian tanah di laboratorium untuk keperluan perencanaan stabilisasi dangkal tanah lunak ditunjukkan dalam Tabel 5.

Tabel 4 Penyelidikan lapangan

No.	Jenis penyelidikan	Standar acuan	Tujuan dan kegunaan
1.	Pemetaan topografi dan geologi lokal	SNI 03-2849-1992 (pemetaan geologi)	Gambaran permukaan tanah lokasi proyek
2.	Pengeboran	ASTM D 2113-83 (1993)	<ul style="list-style-type: none"> a) Gambaran visual dari tanah (stratigrafi tanah pada lokasi proyek) b) Letak muka air tanah c) Pengambilan contoh tanah dan jenis tanah
3.	Pengujian penetrasi standar (SPT)	SNI 03-4153-1996	<ul style="list-style-type: none"> a) Tingkat kepadatan dan konsistensi tanah b) Pengambilan contoh tanah terganggu untuk uji sifat sifat indeks di laboratorium c) Untuk mengetahui efektivitas stabilisasi dangkal dengan membandingkan nilai N dari SPT sebelum dan setelah konstruksi
4.	Pengambilan contoh tanah tak terganggu (Spesifikasi Tabung Dinding Tipis untuk Pengambilan Contoh Tanah Berkohesi Tidak Terganggu)	SNI 03-4148-1996	<ul style="list-style-type: none"> a) Untuk pengujian laboratorium yaitu sifat- sifat indeks dan mekanik b) Untuk mengetahui efektivitas stabilisasi dangkal dengan membandingkan sifat-sifat indeks dan mekanik sebelum dan setelah konstruksi
5.	Uji geser baling lapangan	SNI 06-2487-91	<ul style="list-style-type: none"> a) Kuat geser tak terdrainase lapisan tanah lunak. b) Untuk mengetahui efektivitas stabilisasi dangkal dengan membandingkan kuat geser tak terdrainase sebelum dan setelah konstruksi
6.	Penyondiran, secara mekanik maupun elektrik	SNI 03-2827-1992	<ul style="list-style-type: none"> a) Untuk mengetahui konsistensi tanah b) Stratigrafi tanah pada lokasi proyek c) Korelasinya dengan sifat mekanik d) Untuk mengetahui efektivitas stabilisasi dangkal dengan membandingkan tahanan konus sebelum dan setelah konstruksi

Tabel 5 Pengujian laboratorium

No.	Jenis pengujian	Standar acuan	Tujuan dan kegunaan
1.	Pengujian sifat indeks: - Kepadatan - Berat jenis - Kadar air - Batas-batas Atterberg - Distribusi ukuran butir	- SNI-03-2828-1992 - SNI 03-1964-1990 - SNI 03-1965-1990 - SNI 03-1967-1990, SNI 03-1966-1990, SNI 03-3422-1994 - SNI 03-3423-1994	a) Dilakukan pada tahap sebelum konstruksi guna menentukan sifat awal tanah untuk perencanaan stabilisasi dangkal, juga untuk perencanaan campuran lapisan yang distabilisasi b) Dilakukan pada tahap setelah konstruksi untuk menegaskan peningkatan lapisan yang distabilisasi, juga efektivitas stabilisasi dangkal dengan membandingkan perubahan sifat indeks
2.	Pengujian sifat teknik - Kuat tekan bebas - Konsolidasi	- SNI 03-3638-1994 - SNI 03-2812-1992	a) Kuat tekan bebas (q_u) untuk analisis stabilitas lereng dan daya dukung tanah b) Sifat konsolidasi, seperti angka pori awal (e_0), indeks kompresi (C_c), koefisien konsolidasi (c_v) dan tegangan pra konsolidasi ($P'c$), untuk memperkirakan penurunan tanah akibat pembebanan pada timbunan yang dimaksud c) Dilakukan pada tahap sebelum konstruksi untuk menentukan sifat awal tanah serta dilakukan pada tahap setelah konstruksi untuk mendapatkan hasil peningkatan dari stabilisasi dangkal dengan membandingkan perubahan kuat geser, angka pori dan tegangan pra konsolidasi

7 Perencanaan stabilisasi dangkal

7.1 Perencanaan kebutuhan stabilisasi dangkal

Langkah 1: Menentukan kriteria penurunan dan stabilitas timbunan.

Untuk membuat timbunan badan jalan di atas tanah lunak, maka perlu diperhatikan aspek penurunan akhir pada timbunan dan aspek stabilitas fondasi timbunan. Untuk menentukan besarnya penurunan akhir maka diperlukan kriteria desain dari penurunan yang disyaratkan yang ditetapkan oleh perencana berdasarkan kelas jalan yang akan dibangun. Aspek stabilitas timbunan untuk menentukan kelayakan mengenai dimensi, terutama tinggi timbunan harus mampu didukung oleh tanah lunak tanpa terjadi keruntuhan.

7.2 Perencanaan stabilisasi dangkal dengan semen

Langkah 2-a : Menentukan ketebalan yang distabilisasi

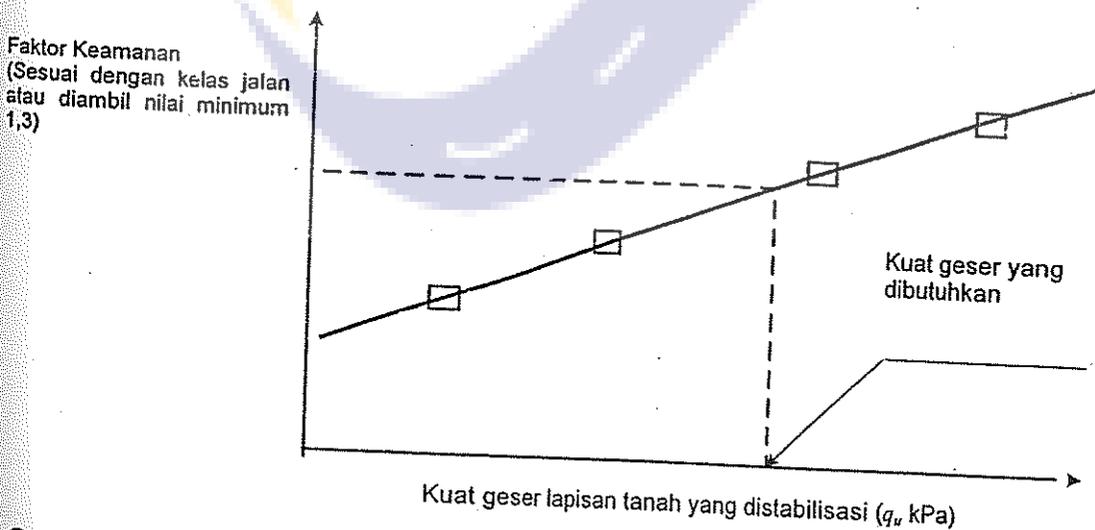
Tentukan ketebalan tanah yang akan distabilisasi sehingga memenuhi kebutuhan desain baik dari daya dukung maupun besarnya penurunan yang ditoleransi. Pada beberapa kasus, lapisan yang distabilisasi diasumsikan sebagai bagian yang kaku sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5 yang tidak berpengaruh terhadap penurunan jangka panjang. Dengan demikian analisis penurunan dilakukan dengan menggunakan ketebalan tanah lunak yang telah dikurangi oleh ketebalan tanah yang telah distabilisasi. Hitung besarnya penurunan akhir yang akan terjadi pada timbunan setelah dilakukan stabilisasi pada tanah permukaan.

Langkah 2-b Memeriksa stabilitas timbunan.

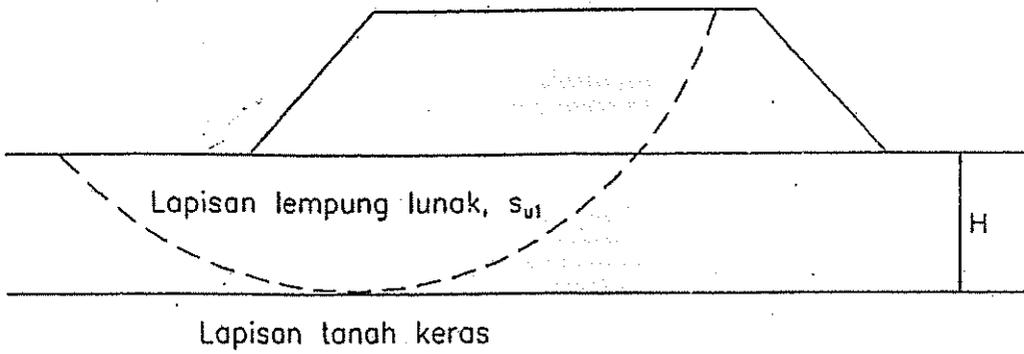
Apabila perhitungan penurunan dan daya dukung telah memenuhi kriteria desain yang disyaratkan, maka lakukanlah pemeriksaan stabilitas timbunan dengan menggunakan parameter kuat geser pada lapisan tanah yang distabilisasi.

Kuat geser yang diinginkan dari lapisan yang distabilisasi selanjutnya ditentukan dari faktor keamanan minimum 1,3 yang ditunjukkan dalam Gambar 4.

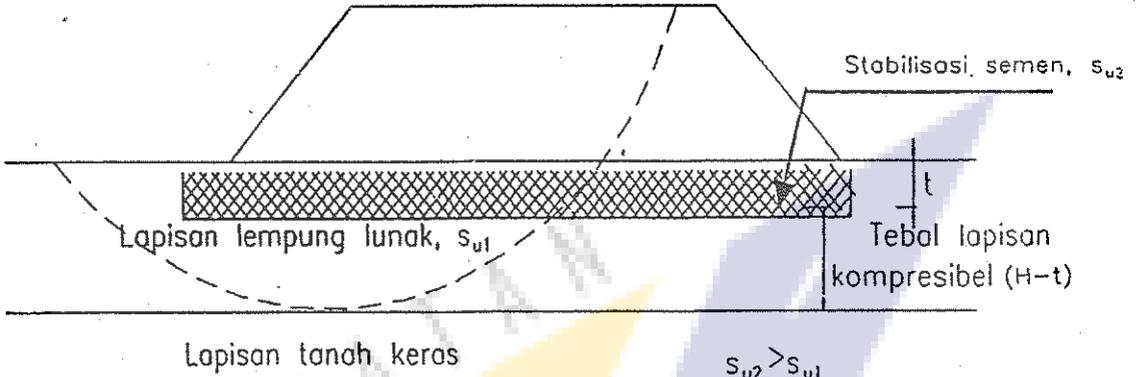
Secara umum, penggunaan stabilisasi dangkal tanpa cerucuk hanya efektif untuk timbunan dengan dimensi yang kecil (tinggi timbunan < 3 m). Untuk timbunan yang besar ukurannya (tinggi timbunan ≥ 3 m), kombinasi stabilisasi dangkal dengan tiang-tiang pendek dibutuhkan untuk meningkatkan stabilitas fondasi serta mengurangi penurunan.



Gambar 5 Analisis stabilitas untuk menentukan kebutuhan kuat geser lapisan tanah yang distabilisasi

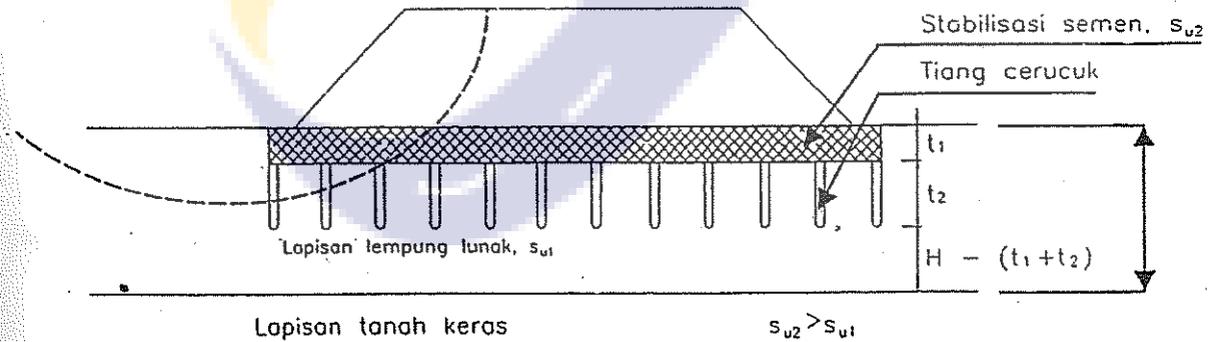


(a) Analisis kemantapan timbunan tanpa stabilisasi



(b) Analisis kemantapan timbunan dengan stabilisasi

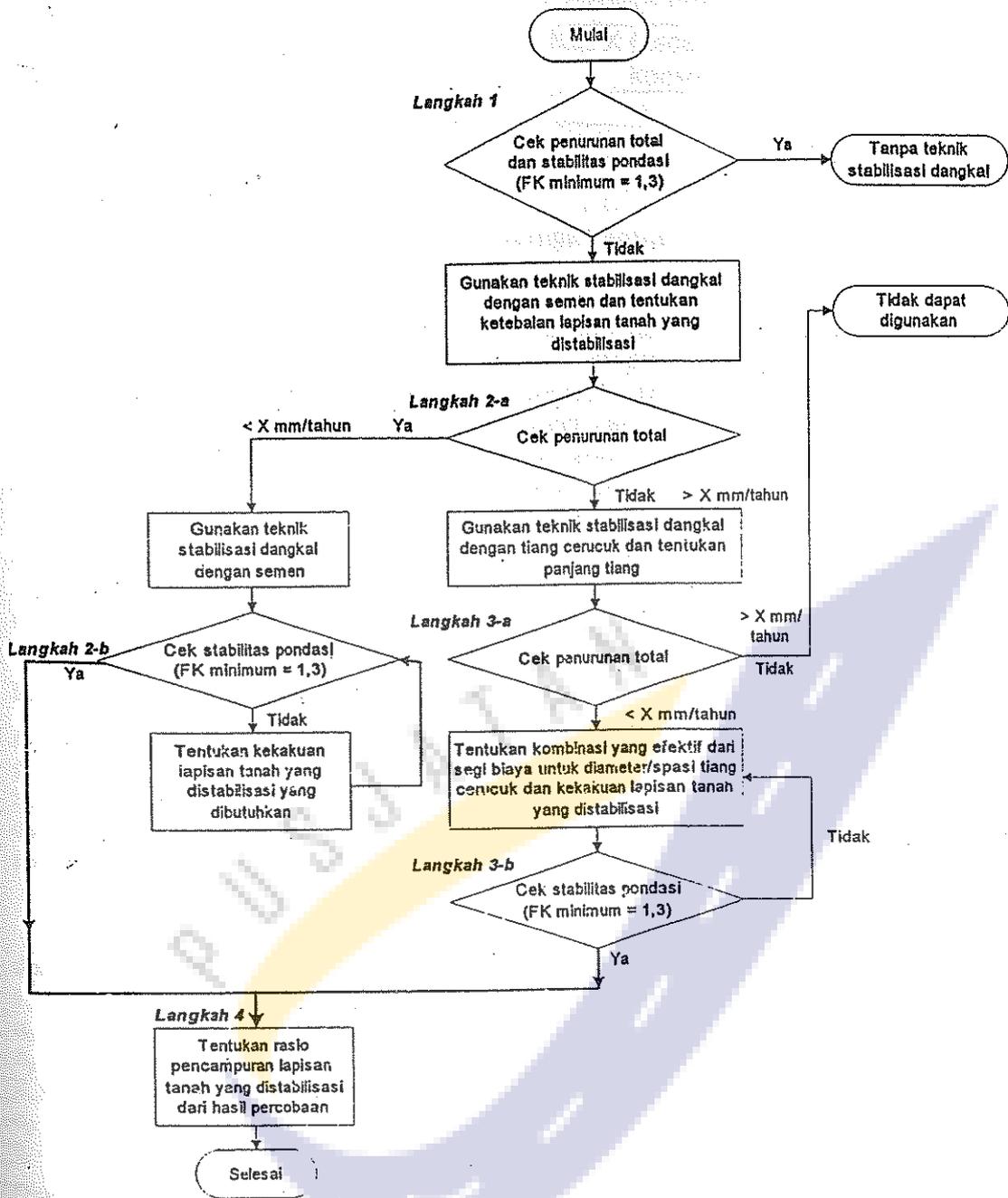
Gambar 6 Analisis stabilisasi lereng untuk stabilitas dangkal



Keterangan : s_{u1} = Kuat geser tanah yang belum distabilisasi

s_{u2} = Kuat geser tanah yang telah distabilisasi

Gambar 7 Stabilisasi dangkal dengan semen dan cerucuk



Gambar 8 Prosedur perencanaan teknik stabilisasi dangkal dengan/tanpa tiang cerucuk

Besarnya nilai X pada gambar di atas dapat dilihat pada tabel berikut ini;

Tabel 6 Batas-batas penurunan untuk timbunan pada umumnya

Kelas Jalan	Nilai X (kecepatan penurunan setelah konsolidasi, mm/tahun)
I	< 20
II	< 25
III dan IV	< 30

7.3 Perencanaan stabilisasi dangkal dengan semen dan tiang cerucuk

Langkah 3-a Memperkirakan penurunan.

Apabila perkiraan penurunan pada perencanaan langkah 2-a (lihat gambar 7) melebihi kriteria perencanaan, ketebalan stabilisasi lempung lunak perlu dipertebal dengan menggunakan tiang-tiang pendek atau cerucuk. Melalui pendekatan ini, lapisan yang distabilisasi diasumsikan sebagai bagian yang kaku dan tidak mempengaruhi penurunan konsolidasi. Sementara itu, deformasi pada zona tiang-tiang pendek meningkat secara proporsional terhadap jarak antartiang. Analisis penurunan dilakukan dengan menggunakan ketebalan tanah lunak yang telah dikurangi, seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Apabila perkiraan penurunan untuk kombinasi stabilisasi dangkal ditambah tiang-tiang cerucuk memenuhi kriteria perencanaan, selanjutnya diikuti dengan perencanaan langkah 3-b untuk menentukan kombinasi diameter dan jarak antartiang-tiang pendek dengan kekakuan lapisan yang distabilisasi yang efektif dan efisien dari segi biaya.

Langkah 3-b Memeriksa stabilitas timbunan.

Apabila perkiraan penurunan pada Perencanaan Langkah 3-a memenuhi kriteria perencanaan, periksa stabilitas fondasi dengan kuat geser uji lapisan yang distabilisasi dan zona tiang-tiang cerucuk yang telah diperbaiki. Kuat geser rata-rata pada zona tiang-tiang cerucuk dapat diperoleh berdasarkan kerapatan tiang yang dinyatakan dalam rasio perbaikan, a_p , sebagai berikut :

$$\tau = a_p c_p + (1 - a_p) s_r \quad (11)$$

dengan pengertian:

- τ adalah kuat geser rata-rata dari zona tiang cerucuk (t/m^2)
- a_p adalah rasio perbaikan = $A_p / (X \cdot Y)$
- A_p adalah area penampang melintang dari tiang cerucuk (m^2)
- X, Y adalah jarak antar tiang cerucuk dalam arah x dan y (m)
- c_p adalah kuat geser tiang (t/m^2)
- s_r adalah kuat geser *remoulded* lempung lunak (t/m^2)

Diameter dan jarak antartiang pendek serta kekuatan yang diinginkan dari lapisan yang terstabilisasi selanjutnya ditentukan berdasarkan analisis stabilitas untuk memenuhi faktor keamanan minimum sebesar 1,3. Prosedur percobaan yang sama dengan perencanaan langkah 2-b dapat diikuti.

7.4. Perencanaan campuran tanah yang distabilisasi

7.4.1 Perencanaan campuran

Langkah 4 Merencanakan campuran tanah-dengan bahan aditif.

Langkah ini merupakan perencanaan campuran lapisan tanah yang distabilisasi dengan bahan aditif semen untuk memenuhi kuat geser yang diinginkan pada stabilisasi dangkal baik dengan bahan aditif semen ataupun kombinasi dengan tiang cerucuk. Perencanaan campuran tanah dengan bahan aditif semen dilakukan di laboratorium untuk menentukan tipe dan perbandingan campuran bahan aditif semen guna menentukan kekuatan rencana.

Perencanaan campuran tergantung kepada tipe tanah yang distabilisasi seperti kadar air alami, batas cair dan plastisitas, kadar organik dan mineral lempung, tipe dan jumlah aditif yang dicampurkan, metode pencampuran dan perawatan, serta perbedaan pemadatan laboratorium dan lapangan. Umumnya aditif berbasis semen, seperti semen Portland biasa atau *Cleanset* digunakan untuk tanah inorganik.

Hal yang perlu diperhatikan adalah sulitnya mengontrol homogenitas campuran serta upaya pemadatan di lapangan. Perbaikan kekuatan lapisan tanah yang distabilisasi di lapangan umumnya lebih kecil dari kekuatan yang diperoleh melalui pemadatan di laboratorium. Faktor reduksi (λ) sebesar 0,5 seringkali digunakan untuk membedakan upaya pemadatan di lapangan dan di laboratorium. Dengan demikian, target kuat geser di laboratorium perlu ditingkatkan dari hasil yang didapat dari langkah 2-b atau 3-b, sebagaimana ditunjukkan di bawah ini:

$$q_{u \text{ lapangan}} = \lambda q_{u \text{ lab}} \quad (12)$$

sehingga:

$$q_{u \text{ lab}} = \frac{q_{u \text{ lapangan}}}{\lambda} \quad (13)$$

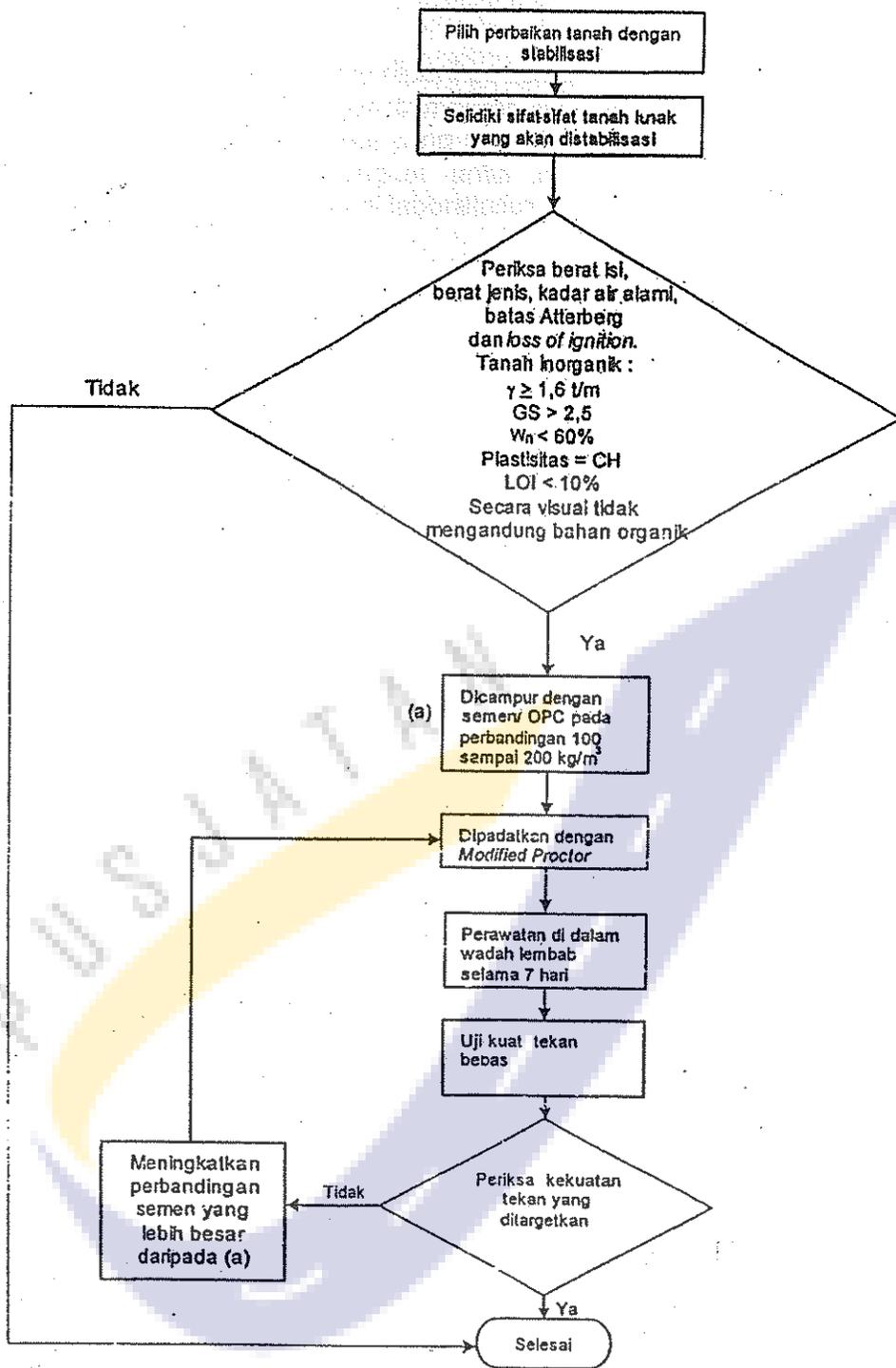
dengan pengertian:

$q_{u, \text{ lapangan}}$ adalah kuat tekan bebas lapisan tanah yang distabilisasi dan dipadatkan di lapangan (t/m^2)

$q_{u, \text{ lab}}$ adalah kuat tekan bebas untuk sampel tanah yang dipadatkan di laboratorium (t/m^2)

λ adalah faktor reduksi, direkomendasikan 0,5

Bagan alir perencanaan campuran dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Metodologi pencampuran semen

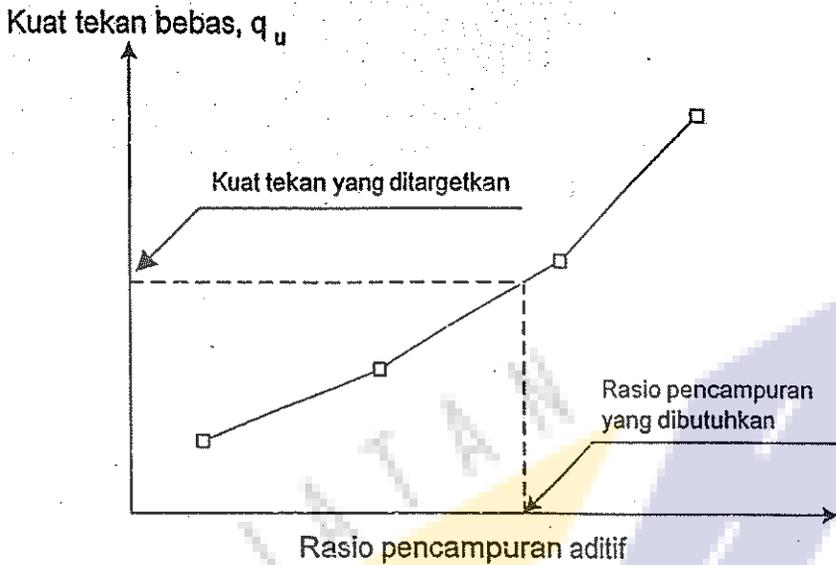
7.4.2 Pengujian klasifikasi tanah

Pengujian klasifikasi di laboratorium dilakukan untuk memeriksa sifat indeks dan kadar organik melalui uji *loss of ignition*, LOI, pada tanah yang distabilisasi. Tipe tanah yang dimaksud di sini adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai tanah inorganik.

Tanah inorganik memiliki nilai LOI kurang dari 10% dan bahan penstabilisasi yang dapat digunakan adalah semen Portland biasa atau tipe aditif berbasis semen lainnya. Persentase campuran semen dengan tanah dapat dilakukan dengan beberapa perbandingan campuran mulai dari 100 kg hingga 200 kg per meter kubik tanah yang distabilisasi. Pemasakan

adap campuran dilakukan di laboratorium dan dirawat untuk 7 sampai 28 hari, jantung pada waktu yang tersedia.

elah waktu perawatan selesai, maka sampel diperiksa kekuatannya melalui uji kuat tekan ras sehingga diperoleh suatu perbandingan campuran yang sesuai dengan target kuat er yang digambarkan pada Gambar 10. Hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa kuat er yang ditargetkan harus dapat meningkat untuk menghitung perbedaan upaya nadatan di lapangan dibandingkan dengan di laboratorium.

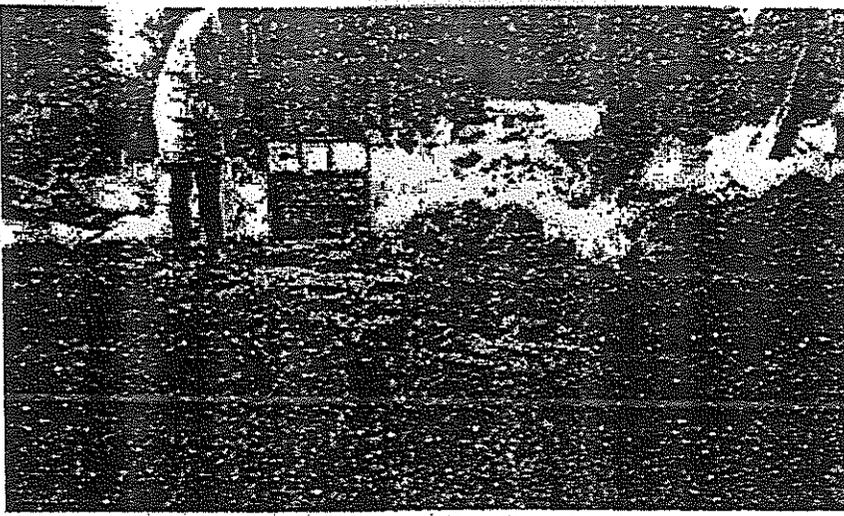


Gambar 10 Pengujian kuat tekan bebas untuk menentukan rasio pencampuran yang dibutuhkan

Pelaksanaan stabilisasi dangkal

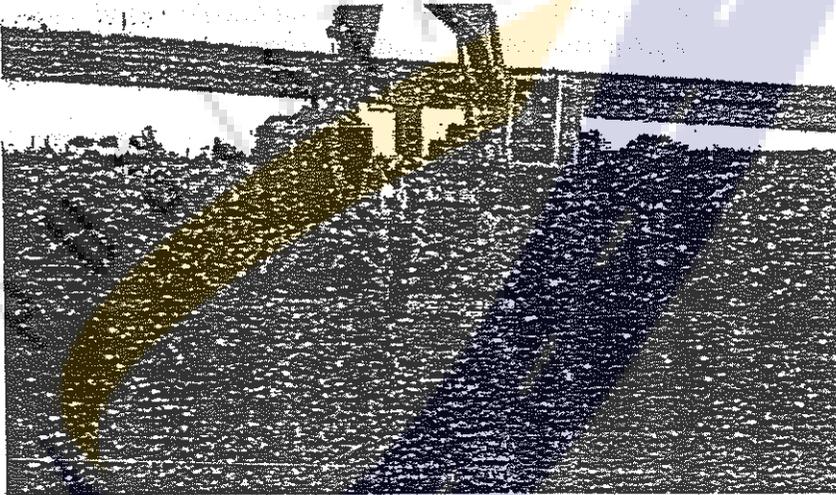
langkah-langkah pelaksanaan stabilisasi dangkal adalah sebagai berikut :

-) persiapan lokasi;
Persiapan lokasi meliputi pembuangan material yang dapat mengganggu stabilisasi dan menghancurkan bongkahan tanah serta menyemprotkan air jika kadar air alami tanah asli lebih rendah daripada kadar air optimum.
-) penyebaran bahan penstabilisasi;
Menyebarkan bahan pencampur stabilisasi dengan perbandingan campuran yang telah ditentukan melalui uji pencampuran di laboratorium (Gambar 11). Penyebaran ini dapat dilakukan secara manual atau dengan menggunakan *back-hoe*.



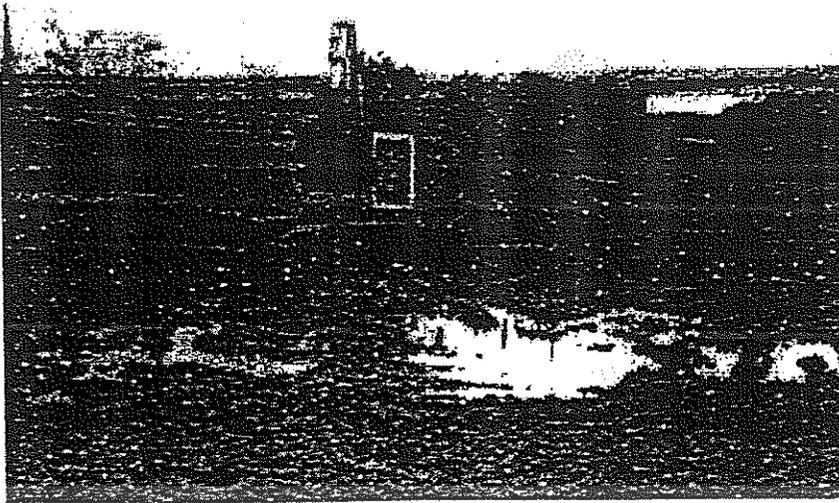
Gambar 11 Penyebaran bahan penstabilisasi

-) pencampuran;
Tanah dan bahan penstabilisasi kemudian dicampurkan merata dengan menggunakan *back-hoe* atau traktor pertanian dengan beberapa perlengkapan (Gambar 12).



Gambar 12 Pencampuran

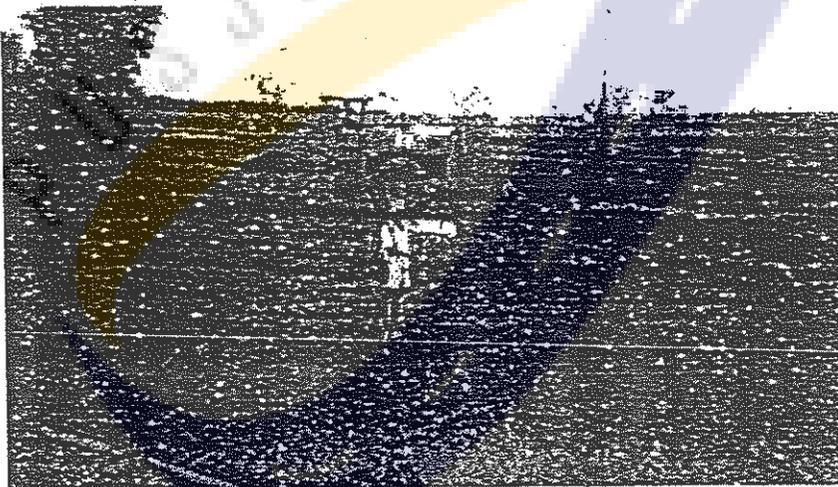
- d) perataan;
Tanah dan bahan penstabilisasi yang telah dicampur selanjutnya dipertinggi hingga ketebalan yang sama di sepanjang daerah yang diperbaiki menggunakan *motor-grader* atau *back-hoe*.
- e) pemasangan cerucuk;
Apabila digunakan tiang cerucuk, maka cerucuk harus dipasang pada tahap penyebaran, pencampuran dan peninggian sebelum lapisan yang distabilisasi diperkeras sepenuhnya. Tanah campuran ini harus sudah stabil untuk menahan pergerakan peralatan pemasang cerucuk. Untuk tanah yang lunak dan lapisan yang distabilisasi tidak sepenuhnya diperkeras, pemasangan cerucuk umumnya lebih mudah dengan menekan tiang secara langsung menggunakan *back-hoe* (Gambar 13).



Gambar 13 Pemasangan cerucuk

pemadatan;

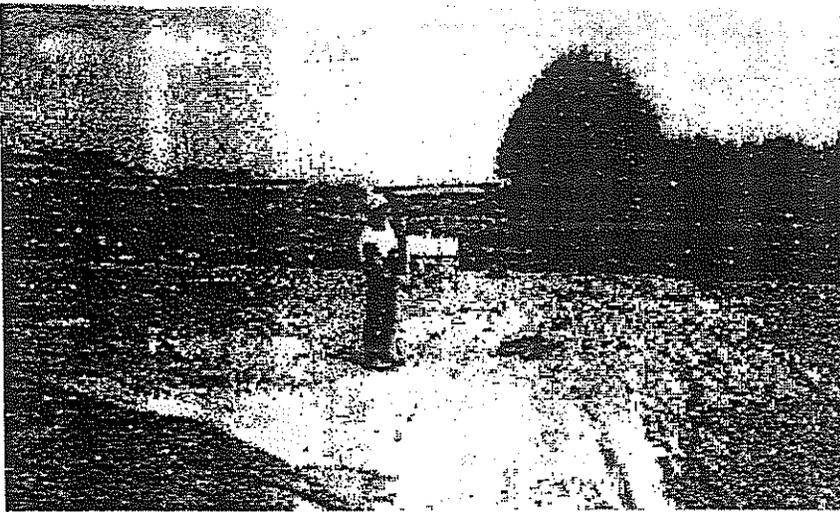
Tanah campuran yang sudah ditinggikan kemudian dipadatkan menggunakan *tire roller*, *tandem-roller*, *vibrating-roller*, *vibrating-plate* atau *compactor* (Gambar 14). Peninggian dan pemadatan harus dilakukan lapis demi lapis dengan ketebalan antara 150 mm sampai dengan 500 mm, tergantung kepada ukuran dan tipe peralatan pemadatan.



Gambar 14 Pemadatan

g) perawatan;

Setelah peninggian dan pemadatan mencapai ketebalan yang diinginkan dari lapisan yang distabilisasi, selanjutnya dirawat dengan cara ditutup lembaran plastik (Gambar 15).



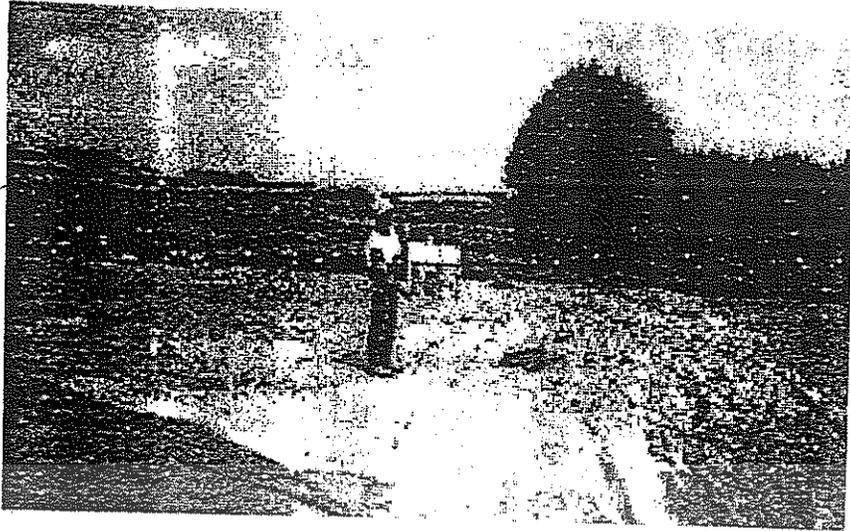
Gambar 15 Perawatan

h) pengujian kualitas.

Uji kepastian kualitas dilakukan melalui uji CBR (*California Bearing Ratio*), uji pembebanan pelat, atau pengambilan contoh untuk keperluan uji laboratorium, sehingga dapat membandingkan kekuatan yang dicapai dari perencanaan (Gambar 16).



Gambar 16 Pengujian kualitas



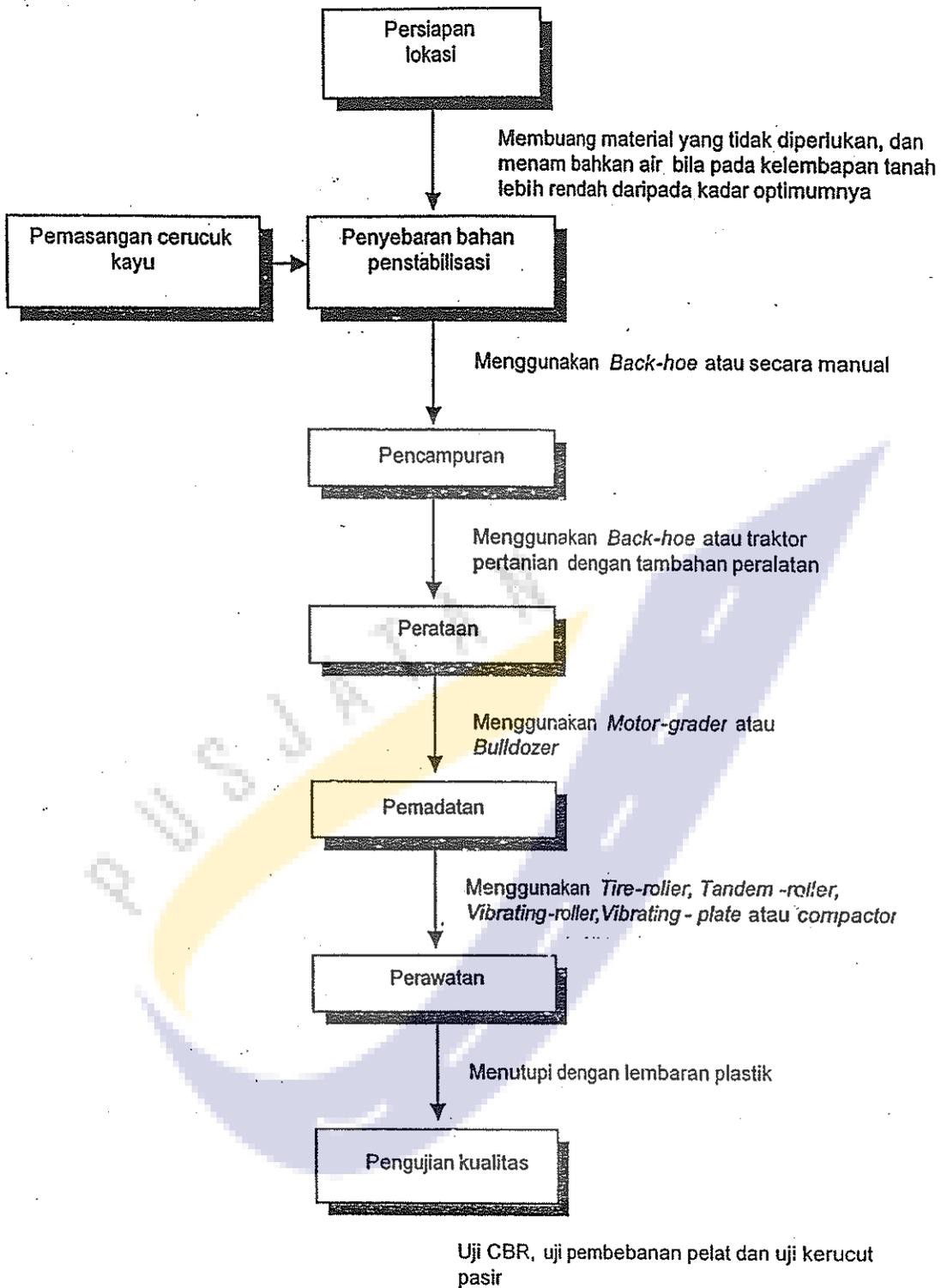
Gambar 15 Perawatan

h) pengujian kualitas.

Uji kepastian kualitas dilakukan melalui uji CBR (*California Bearing Ratio*), uji pembebanan pelat, atau pengambilan contoh untuk keperluan uji laboratorium, sehingga dapat membandingkan kekuatan yang dicapai dari perencanaan (Gambar 16).



Gambar 16 Pengujian kualitas



Gambar 17 Tahapan konstruksi pada teknik stabilisasi dangkal

9 Instrumen geoteknik dan pemantauan

Untuk mengetahui efektivitas penggunaan teknik stabilisasi dangkal dan untuk memberikan peringatan awal bila timbunan dalam kondisi kritis terhadap keruntuhan timbunan, maka diperlukan pemasangan instrumen geoteknik. Instrumen ini harus dipasang sebelum proses penimbunan dilakukan.

9.1 Tipe instrumentasi geoteknik

- a) Pelat penurunan;
Pelat penurunan berfungsi untuk memantau besar penurunan total dan nilai perbedaan penurunan pada permukaan tanah. Pelat penurunan ini dipasang pada lapisan tanah yang distabilisasi sebelum konstruksi timbunan dilaksanakan. Untuk memantau perbedaan penurunan, maka pelat penurunan ditempatkan pada bagian tengah dan kedua ujung timbunan.
- b) Ekstensometer magnetik;
Alat ini berguna untuk mengukur penurunan yang terjadi pada setiap jenis lapisan tanah yang berbeda. Alat ini umumnya dipasang pada lubang bor bersamaan dengan konstruksi lapisan yang distabilisasi.
- c) Patok geser;
Patok geser berfungsi untuk memantau pergerakan permukaan timbunan ke arah lateral dan dipasang pada satu sisi atau kedua sisi timbunan.
- d) Inklinometer;
Inklinometer berfungsi untuk memantau deformasi lateral pada permukaan tanah di bawah dan di samping timbunan. Instrumen ini dipasang pada kedalaman yang berbeda-beda serta ditempatkan pada sisi timbunan atau pada tanah yang berdekatan dengan kaki timbunan.
- e) Pisometer;
Pisometer berfungsi untuk memantau kenaikan tekanan air pori dalam tanah yang berada di bawah timbunan. Di samping itu juga berfungsi sebagai pengukur disipasi tekanan air pori terhadap waktu. Pemasangan pisometer umumnya di tengah-tengah timbunan dan ditempatkan pada lapisan tanah lempung lunak dengan kedalaman yang bervariasi.
- f) Pipa ukur muka air.
Pipa pengukur muka air berguna untuk memantau muka air tanah dan sebagai referensi dalam perhitungan kelebihan tekanan air pori pada pisometer. Pemasangan pipa pengukur air umumnya pada tengah-tengah timbunan.

Tipe-tipe instrumentasi geoteknik yang sering digunakan dirangkum pada Tabel 7 dan dapat dilihat pada Gambar 18.

Tabel 7 Kebutuhan instrumentasi

No.	Jenis Instrumentasi	Fungsi	Penempatan Instrumen
1.	Pelat penurunan	Untuk memantau penurunan total dan perbedaan muka tanah	Pada permukaan lapisan yang distabilisasi di bagian tengah dan kedua ujung penampang melintang timbunan
2.	Ekstensometer magnetik (<i>magnetic extensometer</i>)	Untuk memantau penurunan total pada tiap lapisan tanah yang berbeda	Pada lubang bor di bagian tengah timbunan dengan kedalaman yang bervariasi

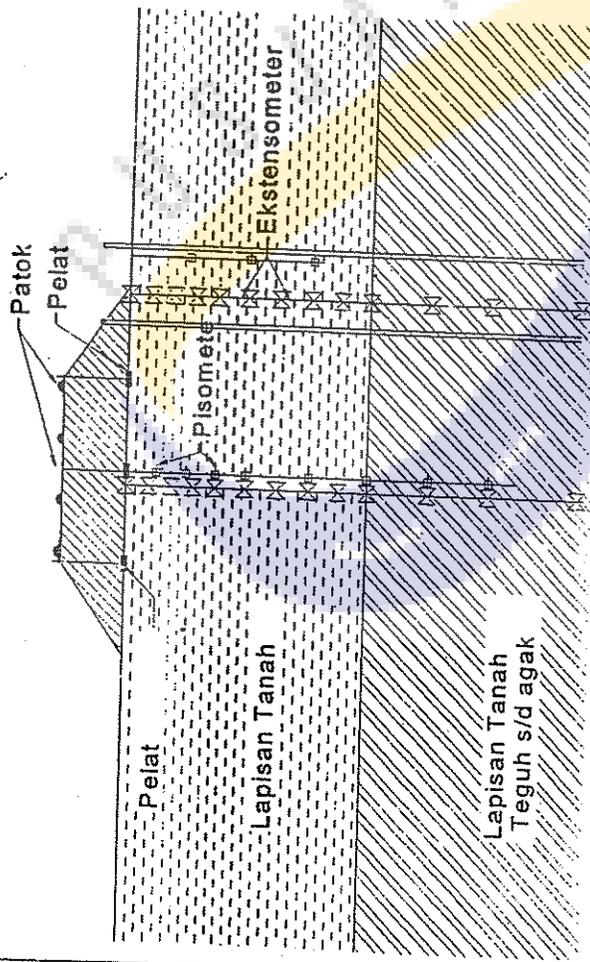
Tabel 7 Kebutuhan instrumentasi

No.	Jenis Instrumentasi	Fungsi	Penempatan Instrumen
3.	Patok geser	Untuk memantau pergerakan lateral muka tanah	Pada permukaan timbunan atau tanah yang berdekatan dengan kaki timbunan
4.	Inklinometer	Untuk memantau pergerakan lateral pada lapisan tanah yang berbeda	Pada lubang bor yang berdekatan dengan kaki timbunan. Ujung inklinometer harus masuk di tanah keras di bawah tanah kompresibel
5.	Pisometer	Untuk memantau tekanan air pori yang berkaitan dengan penempatan timbunan dan disipasi air pori terhadap waktu	Pada lubang bor yang ditempatkan di bagian tengah timbunan pada kedalaman yang bervariasi dalam lapisan tanah kompresibelnya
6.	Pipa ukur muka air	Untuk mengukur fluktuasi muka air tanah dan sebagai referensi untuk menghitung kelebihan tekanan air pori	Pada lubang bor ditempatkan di luar badan timbunan yg relatif tidak terpengaruh oleh beban timbunan, di bawah fluktuasi muka air tanah yang diharapkan

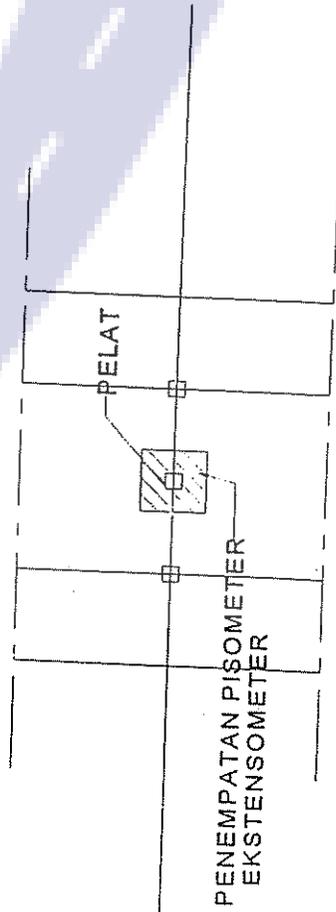
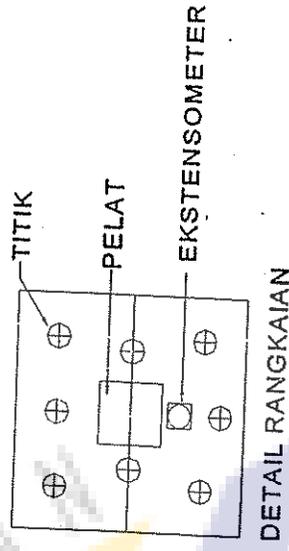
9.2 Pemantauan instrumen geoteknik

Instrumen geoteknik secara periodik harus dipantau pada interval waktu tertentu, dengan periode sebagai berikut :

- a) pemantauan harian;
Pemantauan harian dilakukan pada awal kegiatan yaitu selama proses penimbunan berlangsung dan sebulan sesudah penimbunan selesai. Pada periode ini, penurunan timbunan, deformasi lateral dan tekanan air pori yang terjadi pada tanah merupakan respon langsung terhadap beban timbunan sehingga membutuhkan frekuensi pemantauan yang lebih sering. Pemantauan awal ini dapat berfungsi juga sebagai peringatan awal terhadap risiko ketidakstabilan tanah yang terjadi selama penempatan timbunan. Bila terjadi tanda-tanda kritis ketidakstabilan tanah di bawah timbunan, maka peringatan awal ini dapat menghentikan pelaksanaan penimbunan atau memperlambat proses penimbunan.
- b) pemantauan mingguan;
Pemantauan mingguan dilakukan pada periode kedua setelah satu bulan dari selesainya proses penimbunan. Pada periode ini kondisi timbunan umumnya relatif stabil, maka frekuensi pemantauan dapat dikurangi untuk membuktikan efektivitas stabilisasi dangkal. Periode pemantauan dilakukan umumnya 3 sampai 6 bulan tergantung kepada jadwal dan perpanjangan evaluasi.
- c) pemantauan bulanan.
Pemantauan bulanan dilakukan pada periode ketiga setelah pemantauan mingguan selesai. Hal ini untuk mengamati lebih lanjut tentang perilaku stabilisasi dangkal setelah terbebani timbunan. Pada periode ini, perubahan penurunan timbunan, deformasi lateral dan tekanan air pori umumnya kecil.



NO	CODE	ITEM
1	⌒	PATOK
2	⌒	PELAT
3	⊠	
4	⊠	
5	⊠	EKSTENSOMETER



Gambar 18 Tata letak instrumen geoteknik untuk timbunan di atas tanah

9.3 Hambatan

Hambatan utama dalam pelaksanaan pemantauan adalah terjadinya kerusakan pada instrumen pemantau. Kerusakan instrumen pemantau tersebut dapat disebabkan oleh kurangnya hati-hatinya para pelaksana lapangan selama aktivitas konstruksi atau akibat ulah orang-orang yang tidak bertanggung jawab. Oleh karena itu pada instrumen pemantau yang telah terpasang harus dibuat pelindung agar tidak rusak.

9.4 Penyajian hasil pemantauan

Hasil pemantauan terhadap penurunan timbunan, deformasi lateral dan tekanan air pori, selanjutnya diplot terhadap waktu (lihat lampiran/lembar informatif) menggambarkan tipikal penyajian kurva penurunan terhadap waktu. Profil deformasi tanah dari inklinometer pada waktu yang bervariasi juga diplot terhadap kedalaman seperti penurunan dari bagian tengah dan ujung pelat penurunan pada waktu yang bervariasi menggambarkan profil perbedaan penurunan.

10 Penyelidikan pascakonstruksi

Penyelidikan pasca konstruksi seringkali disebut sebagai *check boring*, yang dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan efektivitas stabilisasi dangkal. Perbandingan sifat indeks dan sifat mekanik dari tahap prakonstruksi dengan tahap pasca konstruksi dapat menggambarkan besarnya tingkat perbaikan tanah.

Program penyelidikan pasca konstruksi pada dasarnya sama dengan program penyelidikan prakonstruksi, kecuali bahwa penyelidikan ini lebih difokuskan hanya kepada lapisan tanah kompresibel. Metode penyelidikan yang umum di lapangan dan di laboratorium yang ditunjukkan di dalam Tabel 4 dan Tabel 5 dapat digunakan dalam penyelidikan pasca konstruksi.

Lampiran A

(Informatif)

Analisis stabilitas timbunan dengan Metode Elemen Hingga (MEH)

Realisasi suatu kontinum sebagai gabungan dari sejumlah elemen yang terpisah merupakan konsep dasar dari metode elemen hingga. Elemen-elemen ini dihubungkan dengan titik-titik nodal. Perilaku dari kontinum kemudian didekati dengan perilaku elemen-elemen. Persamaan kesetimbangan dibuat dalam bentuk perpindahan nodal-nodal dengan beberapa pendekatan. Solusi persamaan-persamaan tersebut akan menghasilkan perpindahan dan selanjutnya akan diperoleh tegangan dan regangan. Analisis menggunakan metode elemen hingga (MEH) atau FEM (*finite element method*).

Model tanah yang dapat digunakan dalam analisis MEH di antaranya adalah *Mohr-Coulomb* dan *Hardening Model*. Metode *Mohr-Coulomb* merupakan suatu elastis tanah dalam model plastis serta memerlukan lima masukan parameter yang sering digunakan dalam analisis geoteknik. Parameter tanah tersebut meliputi parameter E dan ν untuk elastisitas tanah, parameter c dan ϕ untuk plastisitas tanah dan parameter ψ sebagai sudut dilatasi. Model tanah yang digunakan merupakan *Soft Soil Creep (SSC)*, dengan pertimbangan bahwa dalam model ini dapat mengakomodasi tanah-tanah yang mempunyai tingkat kompresibilitas tinggi dan pertimbangan pengaruh rangkak. Model *Hardening-Soil (HS)* dapat digunakan untuk seluruh jenis tanah, tetapi HS tidak mempertimbangkan efek viskositas, rangkak dan tegangan relaksasi, sedangkan pada kenyataannya bahwa tanah lempung mengalami rangkak dan penurunan primer. Untuk analisis cerucuk maka dapat dimodelkan seperti elemen balok.

Dalam hal keruntuhan di mana cerucuk mempunyai kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kekakuan tanah lempung, maka yang akan mengalami keruntuhan terlebih dahulu adalah tanah lempungnya.

Parameter tanah yang digunakan untuk analisis ini, diberikan pada A.1 di bawah ini.

Tabel A.1 Parameter tanah untuk analisis metode elemen hingga

Deskripsi			Lapisan tanah		
			Alluvium	Tanah residual	
Ketebalan		m	7,0 - 8,0	3,0 - 4,5	
Nilai -N SPT		Pukulan per 30 cm	< 0	8 - > 50	
Sondir (Dutch Cone Penetration Test)	Tahanan konus (q_c)	MN/m ²	0,25 - 0,50	3 - > 25	
	Hambatan lokal (f_s)	MN/m ²	< 0,05	0,05 - 0,20	
Sifat indeks	Kadar air alami		%	70 - 125	45 - 90
	Kepadatan basah		kN/m ³	14 - 16	15 - 16
	Berat jenis			2,60 - 2,65	2,55 - 2,65
	Batas konsistensi Atterberg	Batas Cair	%	80 - 130	75 - 95
		Batas Plastis	%	35 - 55	40 - 95
	Distribusi Ukuran Butir	Kerikil	%	< 5	< 5
		Pasir	%	5 - 35	35 - 70
		Lanau	%	40 - 50	10 - 20
Lempung		%	20 - 50	10 - 20	
Sifat konsolidasi	Angka pori pada P'_c			1,8 - 3,4	1,4 - 1,8
	Tegangan Pra konsolidasi (P'_c)		kPa	45 - 110	100 - 160
	Indeks Kompresi (C_c)			0,8 - 1,6	0,9 - 1,0
	Korfisien konsolidasi (c_v) pada rentang P'_c		m ² /tahun	1,5 - 3,0	2,0 - 4,0
Sifat kekuatan	Kuat Tekan Bebas (q_u)		kPa	20 - 50	30 - 35
	Uji Geser Baling lapangan		kPa	12 - 35	- - -

PEMBACAAN EKSTENSOMETER MAGNETIK

Objek :
 Lokasi :
 Jenis pipa :
 Panjang (m) :

Lokasi :
 Tanggal :
 Koreksi elevasi :
 Dikerjakan oleh :

Tinggi men	Elevasi Awal				Jarak terukur				Pergerakan tanah (m)
	b (m)	a (m)	h_o (m)	h_{or}	b (m)	a (m)	h_i (m)	h_r (m)	
0m									
1m									
2m									
3m									
4m									
5m									
6m									
7m									
8m									
9m									
10m									
11m									
12m									
13m									
14m									
15m									
16m									
17m									
18m									
19m									
20m									

PEMBACAAN UJI GESER BALING LAPANGAN

PROYEK				Halaman 1 dari 2	
SITE					
LOKASI					
ELEVASI DI ATAS MSL (m)					
NO. UJI GESER BALING		KOORDINAT (X : Y)			
Tipe Baling		KEDALAMAN (m)			
Tinggi Baling (mm)		Tanggal		Kedalaman GWL (m)	
Lebar Baling (mm)		Operator			
Faktor Kalibrasi		Detik per rotasi	1	derajat per rotasi	0,1
TIDAK TERGANGGU					

No. Rotasi	Bacaan Alat	C _{um} (kPa)	No. Rotasi	Bacaan Alat	C _{um} (kPa)	No. Rotasi	Bacaan Alat	C _{um} (kPa)
10			210			410		
20			220			420		
30			230			430		
40			240			440		
50			250			450		
60			260			460		
70			270			470		
80			280			480		
90			290			490		
100			300			500		
110			310			510		
120			320			520		
130			330			530		
140			340			540		
150			350			550		
160			360			560		
170			370			570		
180			380			580		
190			390			590		
200			400			600		

ETERANGAN	Bacaan Alat Maks.	0,00	C _u (kPa)	0
	Disetujui			

PENCATATAN SONDIR (DUTCH CONE PENETROMETER)

DI ATAS MSL (m)		KOORD. (X : Y)		KEDALAMAN GWL (m)					
n		Tanggal		Operator					
Maksimum									
ometer		Kecepatan penetrasi(mm/second)							
Piston/Konus (Piston/Cone Area)		1		Rasio Luas Piston/Selimut (Piston/Sleeve Area Ratio) (A_{ps})					
t Cor. Factors		A-Factor	0,138	B-Factor	0,22	C-Factor	0,0124	D-Factor	0,023
C_w	T_w	K_w	q_c	f_s	q_{c-c}	f_{s-c}	L_r	T_r	R_r
(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	$T_w - C_w$	$C_w \cdot A_{pc} \cdot 98$ (kPa)	$K_w \cdot A_{ps} \cdot 98$ (kPa)	$q_c + (A \cdot d + B) \cdot 98$ (kPa)	$f_s + (C \cdot d + D) \cdot 98$ (kPa)	0,2 (kN/m)	Σf_{s-c} (kN/m)	$(f_{s-c} / q_{c-c}) \cdot 100$ (%)
	1,50		0	0					
	2,00		0	0					
	2,00		0	0					
	2,00		0	0					
	1,50		0	0					
	1,25		0	0					
	1,25		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	1,50		0	0					
	2,00		0	0					
	2,50		0	0					
	2,50		0	0					
	2,50		0	0					
	2,00		0	0					
	2,00		0	0					
	2,00		0	0					

an/Sketsa

Disetujui oleh:

Modeling geometrik penurunan

STUDI KASUS

Perilaku Penurunan Timbunan Di atas Tanah Lunak Menggunakan Teknologi Kombinasi Cerucuk Kayu dan Stabilisasi Cleanset

Hedy Rahadian, Slamet Prabudi S., Y.P. Chandra
Makalah pada Seminar HATTI, Bandung, 2001

Abstrak

Pada kasus ini disajikan analisa balik konstruksi uji timbunan di atas deposit tanah lunak di daerah pantai utara Jawa. Tepatnya lokasi uji di daerah penjarangan, bagian dari jalan tol Prof. Dr. Sedyatmo-bandara internasional Soekarno-Hatta. Lapisan tanah terdiri dari lapisan aluvial sedalam 6 - 7 m, tanah di bawahnya lapisan diluvium kaku dan tanah dasarnya deposit lapisan vulkanik. Tipe timbunan yang di coba terdiri dari 4 buah yaitu timbunan normal tanpa perlakuan apapun, timbunan yang dilapisi dasarnya dengan stabilisasi dangkal sedalam 1 m, timbunan yang sama tapi dengan penambahan cerucuk kayu dengan spasi 1 m dan timbunan yang sama tapi dengan mengubah spasi menjadi 0,6 m. Kinerja empat tipe yang distabilisasi dangkal cukup signifikan memperbaiki penurunan terlebih lagi dengan penambahan cerucuk kayu. Bagaimanapun pengurangan spasi cerucuk dari 1,0 menjadi 0,6 m hanya untuk sedikit memperbaiki penurunan. Analisa balik dengan metode elemen hingga menggunakan plaxis memperlihatkan bahwa penurunan dapat diperkirakan dengan menggunakan model konstitutif soft soil creep (SSC).

1. Pendahuluan

Deposit tanah lunak tersebar luas di wilayah kepulauan Indonesia baik berupa tanah lunak organik, nonorganik maupun gambut sehingga pembuatan jalan di tanah lunak tak terhindarkan lagi. Seiring dengan perkembangan pembangunan jaringan jalan yang begitu cepat dan terbatasnya

anggaran dibutuhkan inovasi-inovasi teknologi untuk pembuatan jalan di atas deposit tanah lunak yang efektif dan murah tapi masih memenuhi kriteria teknis seperti stabilitas, perbedaan penurunan, penurunan berlebih, tingkat pelayanan dan terjangkaunya pemeliharaan.

Pada bulan Desember 1998, Departemen Pekerjaan Umum (waktu itu) dan *Infrastructure Development Institute (IDI)* Jepang menjalin kerjasama untuk membuat studi Teknik stabilisasi lapis permukaan (*Surface Layers Stabilization Technique, SLST*). Studi yang dilaksanakan

berupa uji timbunan pada tanah lunak dengan beberapa variasi timbunan stabilisasi lapis permukaan. Lokasi uji timbunan di daerah penjarangan (Jl Tol Prof. Sedyatmo) yang menghubungkan Jakarta menuju Bandara Internasional Soekarno-Hatta (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Uji Timbunan

2. Karakteristik Tanah dan Deskripsi Proyek

Kondisi Topografi

Lokasi terletak pada dataran rendah aluvial Jakarta dengan ketinggian regional rata-rata 4,5 m di atas muka air laut rata-rata. Jarak lokasi dari pinggir

pantai utara Jakarta 2,5 km, elevasi muka air tanah pada lokasi sangat dipengaruhi oleh pasang surut muka air laut.

Kondisi Geologi

Stratifikasi lokasi terdiri atas tanah lunak alluvium, lapisan diluvium dan lapisan tanah vulkanis, formasi utamanya berupa tanah kohesif dan kepasiran dapat dilihat dalam tabel 1 berikut ini :

Tabel 1. Formasi Geologi

Waktu Geologi	Lapisan	Deskripsi
Holocene	Alluvium	- Tanah kohesif dengan konsistensi sangat lunak sampai lunak - Tanah kepasiran, statusnya berupa lensa
Pleistocene	Diluvium	- Tanah kohesif soil, konsistensi kaku sampai keras - Tanah kepasiran & kerikil, medium sampai padat.
Pleistocene	Deposit lapukan vulkanik	- Lanau lempung pasiran keras dan pasir padat

Karakteristik Geoteknik

Dari hasil penyelidikan tanah didapat kesimpulan bahwa ketiga lapisan tanah adalah sebagai berikut :

1. Alluvium yang terdiri dari lempung lanauan konsistensi sangat lunak sampai lunak.
2. Diluvium yang terdiri dari lanau lempungan dan lanau pasiran dengan konsistensi lunak sampai medium kenyal.
3. Deposit lapukan vulkanik yang terdiri dari lanau lempung pasiran keras dan pasir padat.

Profil tanah pada daerah timbunan uji dapat dilihat pada gambar 2.

Alluvium

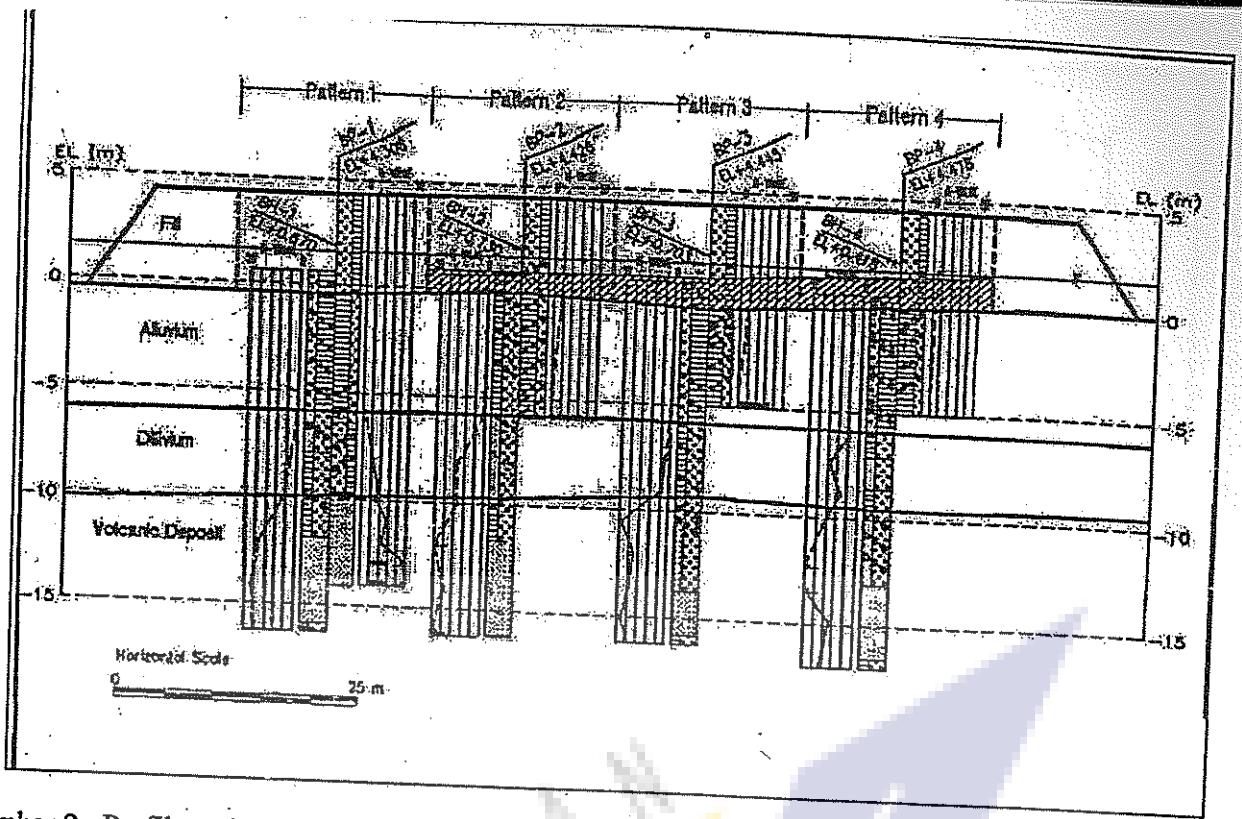
Lapisan lempung lanauan aluvial dengan konsistensi sangat lunak sampai lunak pada lapisan atas mempunyai ketebalan sekitar 7 sampai 8 m, tahanan ujung (q_c) $0,25 \text{ MN/m}^2$ sampai $0,5 \text{ MN/m}^2$ dan nilai N-SPT rata-rata nol. Sedangkan dari uji indeks didapat berat isi basah menurun berdasarkan kedalaman dari 16 sampai 14 kN/m^2 , berat jenis (G_s) berkisar antara 2,6 - 2,65, liquid limit (LL) berkisar antara 75% - 130%, plastic limit 35% - 55%, sedangkan kadar air bertambah berdasarkan kedalaman dari 70% sampai 125%. Dari uji saringan didapat fraksi lanau 40% - 50% dan fraksi lempung 20% - 50%. Sedangkan parameter kekuatan yang diperoleh dari uji kuat geser baling berkisar antara 12 kPa sampai 22 kPa, Pada kedalaman 2 m sampai 3 m kuat gesernya relatif besar dibanding kedalaman di bawahnya malah kadang-kadang didapat pada lapisan atas nilainya 30 kPa - 35 kPa dan dari uji kuat tekan bebas (q_u) umumnya mempunyai nilai bervariasi antara 20 kPa - 30 kPa.

Parameter pemampatan yang diperoleh pada uji konsolidasi dari kurva e -log p' mempunyai nilai angka pori (e_0) pada kondisi *overburden pressure* (p_0') berkisar antara 1,8 - 2,8 dan kadang-kadang yang paling tinggi sampai 3,4, Tekanan prakonsolidasi (p_c') berkisar 30 kPa - 60 kPa rata-rata lebih besar dari tekanan *overburden*. Indeks pemampatan (c_c) pada *virgin compression* berkisar 0,9 - 1,6, koefisien konsolidasi pada daerah p_c' berkisar antara 1,5 - 3 m^2/tahun .

Diluvium

Lapisan diluvium dari uji indeks didapat berat isi basah menurun berdasarkan kedalaman dari 15 sampai 16 kN/m^2 , berat jenis (G_s) berkisar antara 2,55 - 2,65, liquid limit (LL) berkisar antara 75% - 95%, plastic limit 40% - 45%, sedangkan kadar air berkisar dari 45% sampai 90%. Dari uji saringan didapat sebagian besar fraksi pasir yang berkisar antara 35% - 70% , fraksi lanau 10% - 20% dan fraksi lempung 10% - 20%. Kuat geser tanah didapat dari uji kuat tekan bebas (q_u) umumnya mempunyai nilai bervariasi dari 30 kPa - 35 kPa.

Parameter pemampatan lapisan diluvium termasuk konsolidasi berlebih yang diperoleh pada uji konsolidasi dari kurva e -log p' mempunyai nilai tekanan prakonsolidasi (p_c')



Jambar 2. Profil tanah Sekitar Daerah Timbunan Uji (sumber: factual Report SI PT.Pondasi Kisokon, 1999)

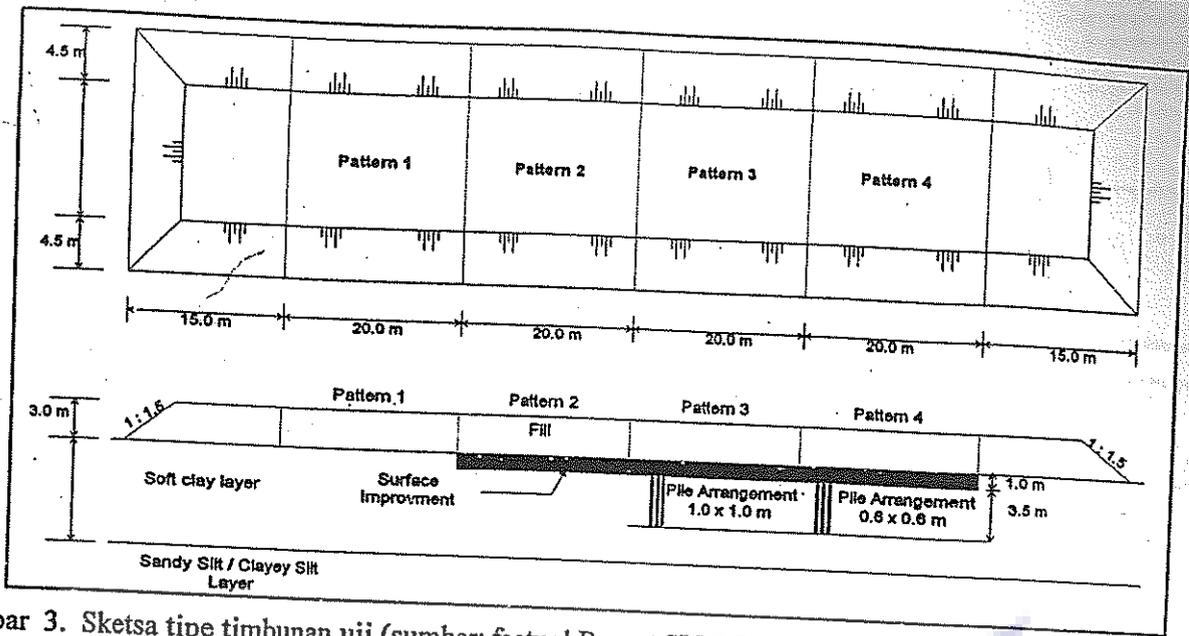
pada 70 kPa – 120 kPa yang rata-rata lebih besar dari tekanan overburdennya, void ratio (e_v) pada kondisi tekanan overburden (p_o') berkisar antara 0,4 – 1,8, indeks pemampatan (c_c) pada *virgin compression* berkisar 0,9 – 1,0, koefisien

konsolidasi pada daerah p_c' berkisar antara 2 – 4 m^2 /tahun.

Untuk lebih jelasnya, parameter tanah disajikan dalam tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Parameter tanah hasil uji lapangan dan laboratorium

Deskripsi		Lapisan Tanah		
		Alluvium	Dilluvium	
Tebal lapisan	m	7,0-8,0	11 3,0-4,5	
Nilai N-SPT	blows/30 cm	< 0	12 8-> 50	
Kondir	Tahanan ujung (q_c)	MN/m^2	13 3-> 5	
	Lekatan (f_s)	MN/m^2	14 0,05-0,20	
Parameter Indeks	Kadar air (w)	%	15 45-90	
	γ_w	kN/m^3	16 15-16	
	G_s		17 2,55-2,65	
	Batas Atterberg	Liquid Limit (LL)	%	18 75-95
		Plastic Limit (PL)	%	19 40-45
Distribusi ukuran butiran	Gravel	%	20 < 5	
	pasir	%	21 35-70	
	lanau	%	22 10-20	
	lempung	%	23 10-20	
Parameter Konsolidasi	Angka pori at p_o'		24 1,4-1,8	
	Tekanan Prakonsolidasi (p_c')	kPa	25 100-160	
	Indeks pemampatan (C_c)		26 0,9-1,0	
	Koefisien konsolidasi (c_v) Pada titik p_c'	m^2 /year	27 2,0-4,0	
Parameter kekuatan	Kuat tekan bebas (q_u)	kPa	28 30-35	
	Kuat geser baling lapangan	kPa	29 -	



Gambar 3. Sketsa tipe timbunan uji (sumber: factual Report SI PT.Pondasi Kisokon, 1999)

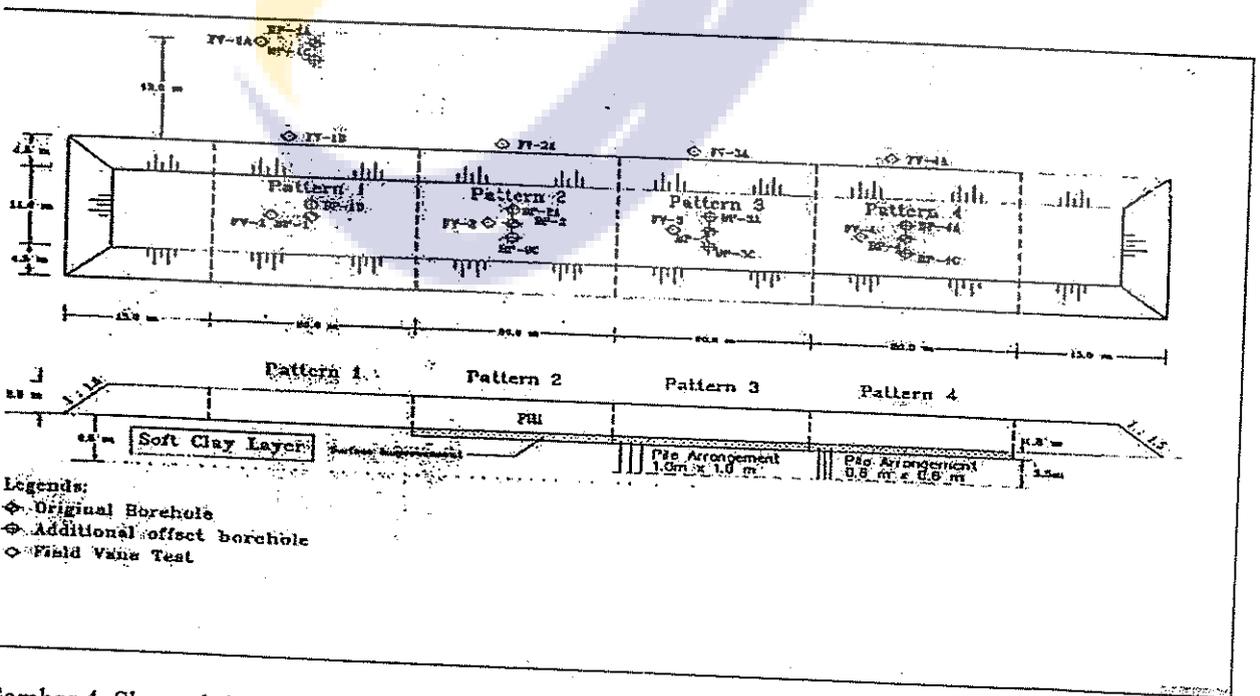
Keterangan :

No	Tipe Timbunan
1	Timbunan Normal
2	Surface layer Cement Stabilization (SLCS) tebal = 1 m
3	SLCS dan cerucuk dolken panjang = 4 m dan spasi = 1 m
4	SLCS dan cerucuk dolken panjang = 4 m dan spasi = 0,6 m

Deskripsi Proyek

Ukuran timbunan uji dengan lebar 20 m dan panjang 110 m, dapat dilihat pada gambar 3. Timbunan uji terbagi dalam empat tipe yang masing-masing mempunyai panjang 20 m, adapun tipe timbunannya dapat dilihat pada gambar 3. Sebelum pelaksanaan konstruksi timbunan

dimulai, penyelidikan tanah awal dilaksanakan disekitar daerah timbunan berupa Sondir (DCPT), *Standard penetration Test (SPT)*, Sampel tak terganggu untuk uji indeks dan propertis mekanis. Lokasi titik penyelidikan tanah dapat dilihat pada gambar4.

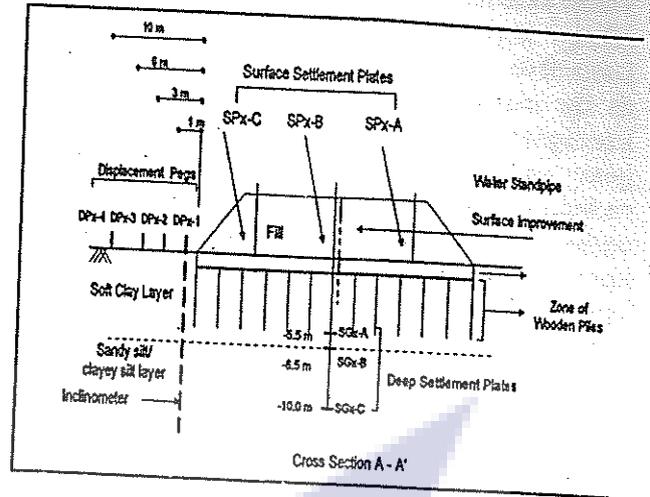


Gambar 4. Skema lokasi titik penyelidikan tanah (sumber: Laporan Faktual SI PT.Pondasi Kisokon, 1999)

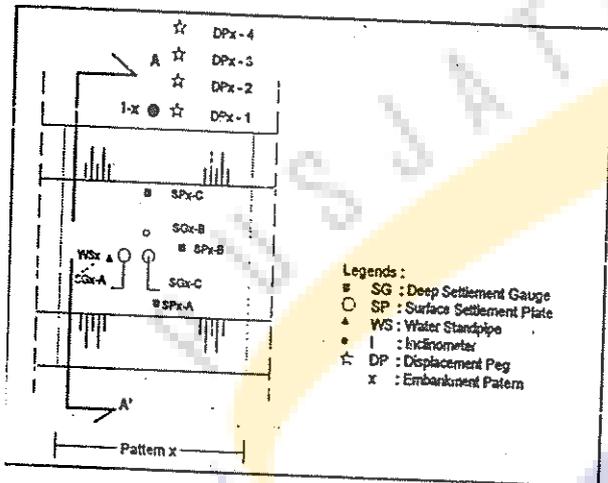
Instrumentasi

Instrumentasi geoteknik untuk memonitor perilaku timbunan antara lain berupa :

- Pelat penurunan (*settlement plate*) untuk memonitor besar dan kecepatan penurunan pada permukaan tanah di bawah timbunan.
 - Alat ukur penurunan dalam (*deep settlement gauges*) untuk memonitor besar dan kecepatan penurunan pada level-level tertentu.
 - Patok geser (*displacement pegs*) untuk memonitor pergerakan lateral pada permukaan tanah.
 - Inklinometer (*inclinometer*) untuk memonitor pergerakan lateral pada level-level tertentu.
 - *Water standpipes* untuk memonitor perubahan muka air tanah.
- kema tipikal instrumentasi geoteknik dapat dilihat pada gambar 5 berikut ini :



Gambar 5. Tipikal skema instrumentasi

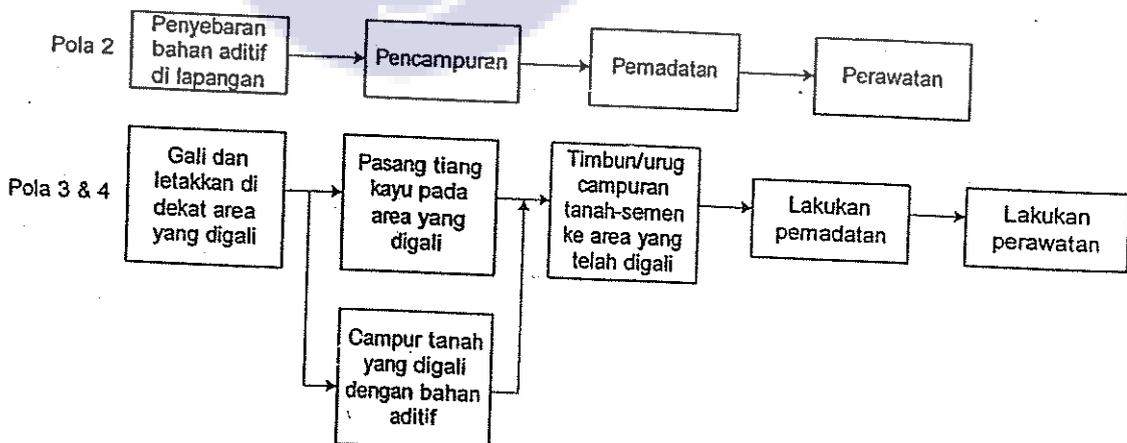


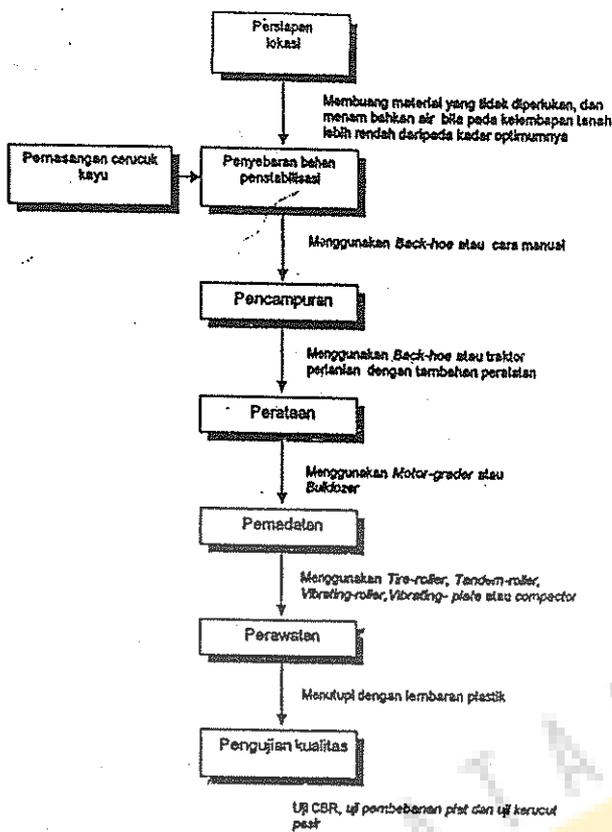
4. Metode Konstruksi

Pelaksanaan konstruksi timbunan uji berlangsung dalam rentang periode 1 – 20 Maret 1999, Secara umum tahapan konstruksi terbagi kedalam tiga tahap yaitu yang pertama pencampuran semen-tanah, tahap yang kedua pemasangan cerucuk kayu untuk pola 3 & 4, dan yang ketiga pemasangan tanah timbunan.

a). Pencampuran Semen-Tanah

Pada tahapan pencampuran semen-tanah terdapat beberapa urutan aktifitas seperti diperlihatkan pada bagan alir pada gambar 6 berikut ini :





Gambar 6. Bagan alir proses stabilisasi

Jenis semen yang digunakan CS-10 cleanset untuk rasio campuran 100 kg CS-10 untuk setiap kubik.

b). Pemasangan Cerucuk Kayu

Cerucuk/tiang kayu sepanjang 4 m dipancang pada pola 3 & 4 timbunan uji, spasi yang di gunakan pada pola 3 adalah 1,0 m sedangkan spasi yang digunakan pada pola 4 adalah 0,6 m. Untuk mendapatkan ikatan yang baik antara cerucuk dan bahan stabilisasi disarankan menyisakan kepala tiang 20 cm dari permukaan tanah untuk dilekatkan dengan bahan stabilisasi. Cerucuk dipancang segera setelah penggalian, gunakan excavator sebagai alat pancangnya.

c). Pemasangan tanah timbunan

Tanah laterit digunakan sebagai bahan timbunan uji yang diimpor dari Serpong Tangerang. Pemasangan timbunan dan pemedatan dilakukan sampai tinggi timbunan mencapai 3 m. Lama waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan timbunan uji ini sekitar 10 hari, tepatnya dari tanggal 10 – 20 Maret 1999.

5. Kinerja Penurunan

Dari hasil monitoring deformasi vertikal untuk tiga posisi *Settlement Plate* didapat grafik gambar 7, kalau dibandingkan deformasi vertikalnya pada empat pola timbunan uji di pusat dan kedua ujungnya terlihat mengalami penurunan secara berurutan. Perbedaan yang mencolok antara timbunan yang menggunakan cerucuk yaitu pola 3 & 4 serta timbunan tanpa cerucuk yaitu pola 1 & 2 terletak pada daerah elastis, sedangkan pada daerah plastis relatif perbedaannya sangat kecil.

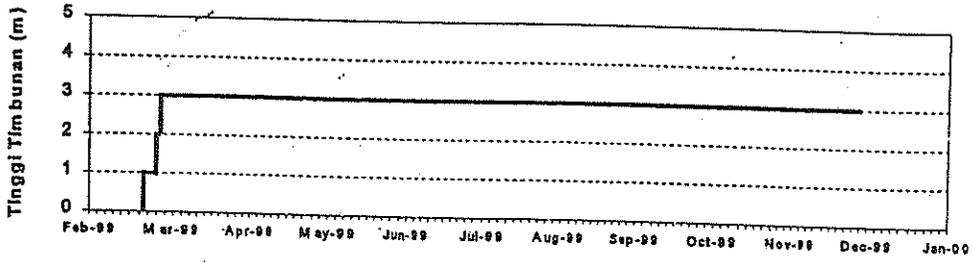
Perbedaan penurunan permukaan antara pusat dan dua ujung timbunan uji diperlihatkan juga pada gambar 7, dari gambar tersebut terlihat bahwa perilaku perbedaan penurunan pada pola 1 & 2 lebih besar bila dibandingkan dengan pola 3 & 4, dari hasil ini ternyata cerucuk kayu dan stabilisasi permukaan yang berfungsi sebagai pengikat antar cerucuk dapat mereduksi perbedaan penurunan yang cukup berarti. Perilaku deformasi vertikal antara pola 1 & 2 belum menunjukkan perbedaan yang signifikan, begitu pula antara pola 3 & 4.

6. Analisa Balik

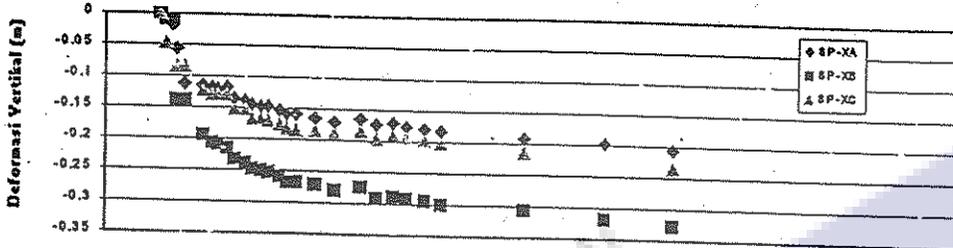
Penggunaan metode-metode numerik telah banyak memberikan solusi alternatif terhadap masalah-masalah geoteknik yang komplek dengan kemungkinan untuk pemodelan geometri dan kondisi batas yang lebih kompleks pula. Penggunaan metode numerik bedahingga, metode matrik dan metode elmen hingga telah terbukti memberikan solusi yang lebih akurat jika dibandingkan dengan menggunakan metode konvensional yang telah banyak dipakai secara luas (Desai dan Cristian, 1997). Hal ini disebabkan karena tegangan dan deformasi didapatkan secara simultan walaupun model tanah yang digunakan masih sederhana seperti misalnya model elastik linier.

Penelitian mengenai pemodelan tanah sampai saat ini banyak mengalami perkembangan. Banyak model-model tanah yang relatif baru telah dikembangkan (Chen dan Baladi, 1985). Perkembangangan ini diarahkan pada penggunaan teori plastisitas untuk pemodelan tanah yang berperilaku non linier dan elasto plastik.

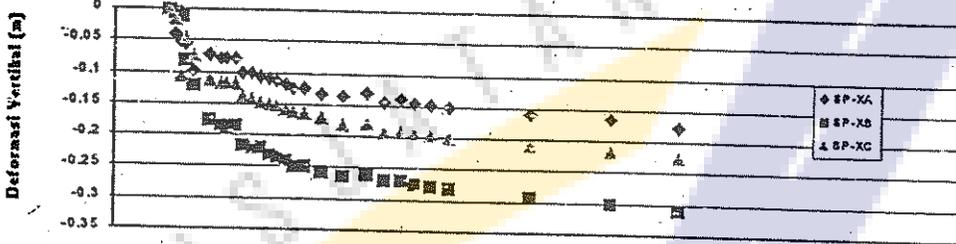
Tahapan konstruksi Timbunan



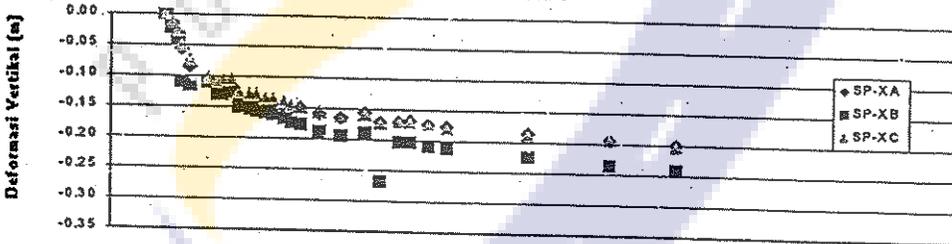
Pola 1



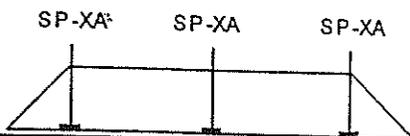
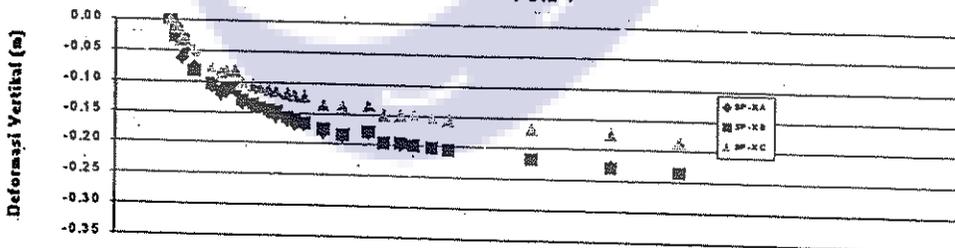
Pola 2



Pola 3



Pola 4



Gambar 7. Penurunan terhadap waktu hasil monitoring pelat penurunan (*settlement plate*)

6.1. Pemodelan Dengan MEH

Metode elemen hingga (MEH) merupakan metode yang sampai saat ini dipandang efisien untuk memecahkan masalah material tanah non linier. Lebih dari itu, MEH mampu untuk memecahkan masalah-masalah rumit seperti geometri yang acak, material yang tidak homogen, pembebanan yang kompleks dan perhitungan tegangan awal (in-situ stress).

Metode elemen hingga digunakan dalam analisa balik ini dengan bantuan paket piranti lunak plaxis 7.1 (Plaxis BV, 1998). Model tanah yang digunakan adalah *soft soil creep* (SSC), model SSC ini dipilih dengan pertimbangan karena dalam model ini mengakomodasi tanah-tanah yang mempunyai tingkat kompresibilitas yang tinggi dan mempertimbangkan juga pengaruh rangkakan. Sebetulnya model *Hardening Soil* (HS) diperuntukan untuk seluruh jenis tanah, tetapi HS tidak mempertimbangkan efek *viscous*, rangkakan dan tegangan relaksasi. Padahal pada kenyataannya seluruh tanah-tanah lempung mengalami rangkakan dan penurunan primer. Khusus untuk cerucuk dimodelkan dengan elemen *beam* yang terdapat pada tipe timbunan 3 & 4 di mana terdapat cerucuk pada timbunannya. Permasalahan geometri yang dalam bentuk *plane strain* pada *beam* dapat di atasi dengan menggunakan parameter ekuivalen, parameter ekuivalen *beam* ini dicari dengan cara coba-coba berdasarkan patokan perilaku beban-deformasi pada data uji beban dilapangan sebagai validasinya (grafik hasil loading tes dan

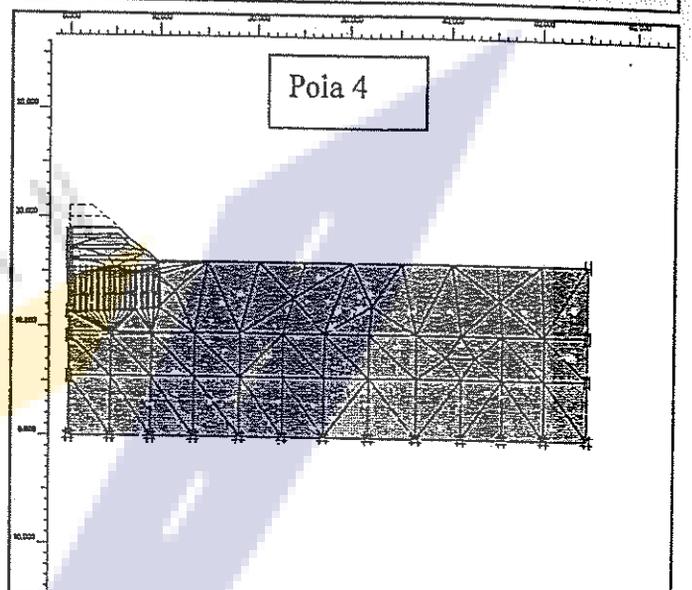
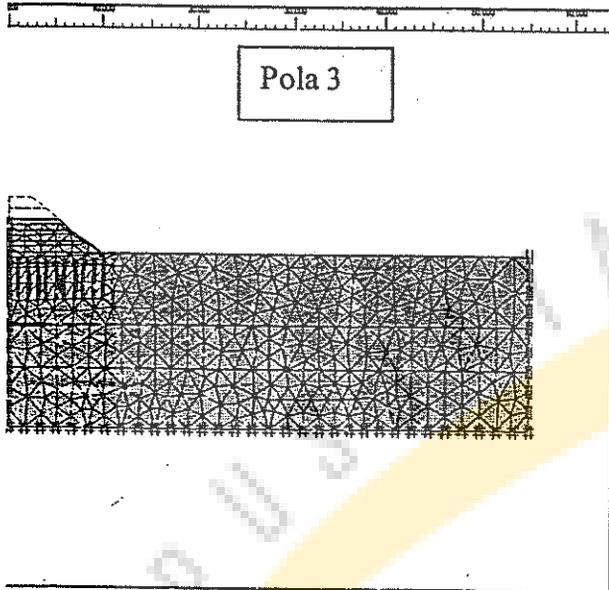
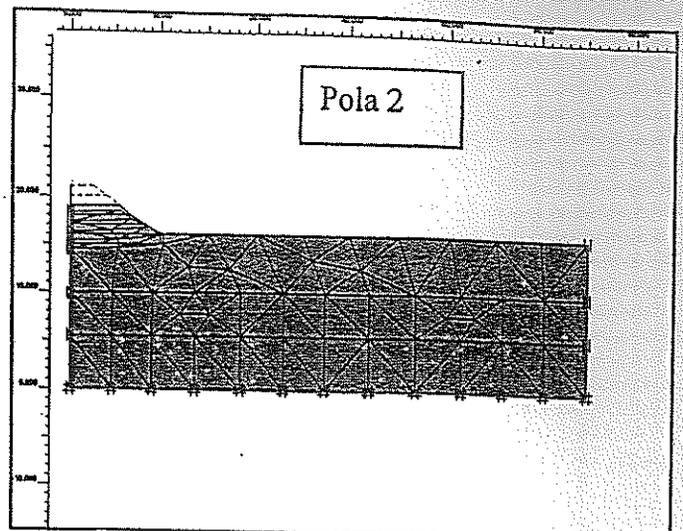
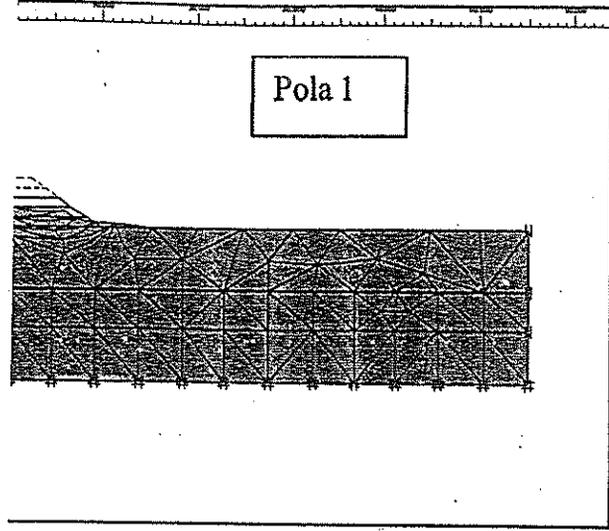
validasinya dapat dilihat pada lampiran). Parameter kekakuan pada cerucuk mungkin tidak terlalu berpengaruh karena cerucuk berperilaku sebagai *floating foundation* di mana kekakuan cerucuk jauh lebih besar dibandingkan dengan kekakuan tanah lempung lanauan aluvial di mana posisi cerucuk berada, sehingga yang mengalami keruntuhan pasti pada tanahnya bukan pada cerucuknya. Dari parameter beam ekuivalen hasil coba-coba didapat bahwa yang paling berpengaruh mengalami perubahan adalah nilai berat cerucuk, sedangkan perubahan parameter kekakuan dan geometri pada *beam* menjadi tidak begitu signifikan. Adapun parameter yang dipergunakan untuk analisis sebagaimana dalam tabel 3 berikut ini :

6.2. Perilaku Penurunan

Hasil pemodelan metode elemen hingga dengan bantuan plaxis menggunakan model tanah *soft soil creep* (SSC) didapat perilaku deformasi mesh untuk semua pola timbunan seperti pada gambar 8. Pola 1 terdapat beda penurunannya yang cukup besar, kemudian pada pola 2 terdapat juga beda penurunan tapi tidak sebesar pada pola 1. Sedangkan pada pola timbunan 3 & 4 yang menggunakan cerucuk, beda penurunan yang terjadi sangat kecil sekali terutama pada timbunan dengan spasi cerucuk yang lebih rapat seperti pada pola 4.

ifikasi	Tipe	γ_{KERING}	γ_{BASAH}	k_x	k_y	E_{50ref}	E_{ocd}^{ref}	E_{ur}^{ref}	c^{ref}	ϕ	φ	ν_{ur}	p^{ref}	Power
		[kN/m ³]	[kN/m ³]	[m/day]	[m/day]	[kN/m ²]	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[°]	[°]	[-]	[kN/m ²]	[-]
alized	Undrained	9,6	15,4	0,01	0,01	3185	4441,43	9555	32	4	0	0,2	100	0,5
ifikasi	Tipe	γ_{KERING}	γ_{BASAH}	k_x	k_y	λ^*	κ^*	μ^*	n_{ur}	K_0^{nc}	M	c^{ref}	ϕ	φ
		[kN/m ³]	[kN/m ³]	[m/day]	[m/day]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[kN/m ²]	[°]	[°]
ium	Undrained	8,4225	14,84	0,0043	0,0043	0,163	0,033	0,0041	0,15	0,8	0,78	1	20	0
dual	Undrained	8,4	15,7	0,0043	0,0043	0,13	0,026	0,0003	0,15	0,8	0,86	1	22	0

Tabel 3. Nilai parameter untuk pemodelan menggunakan elemen hingga



Gambar 8. Pola deformasi mesh untuk masing-masing pola timbunan uji

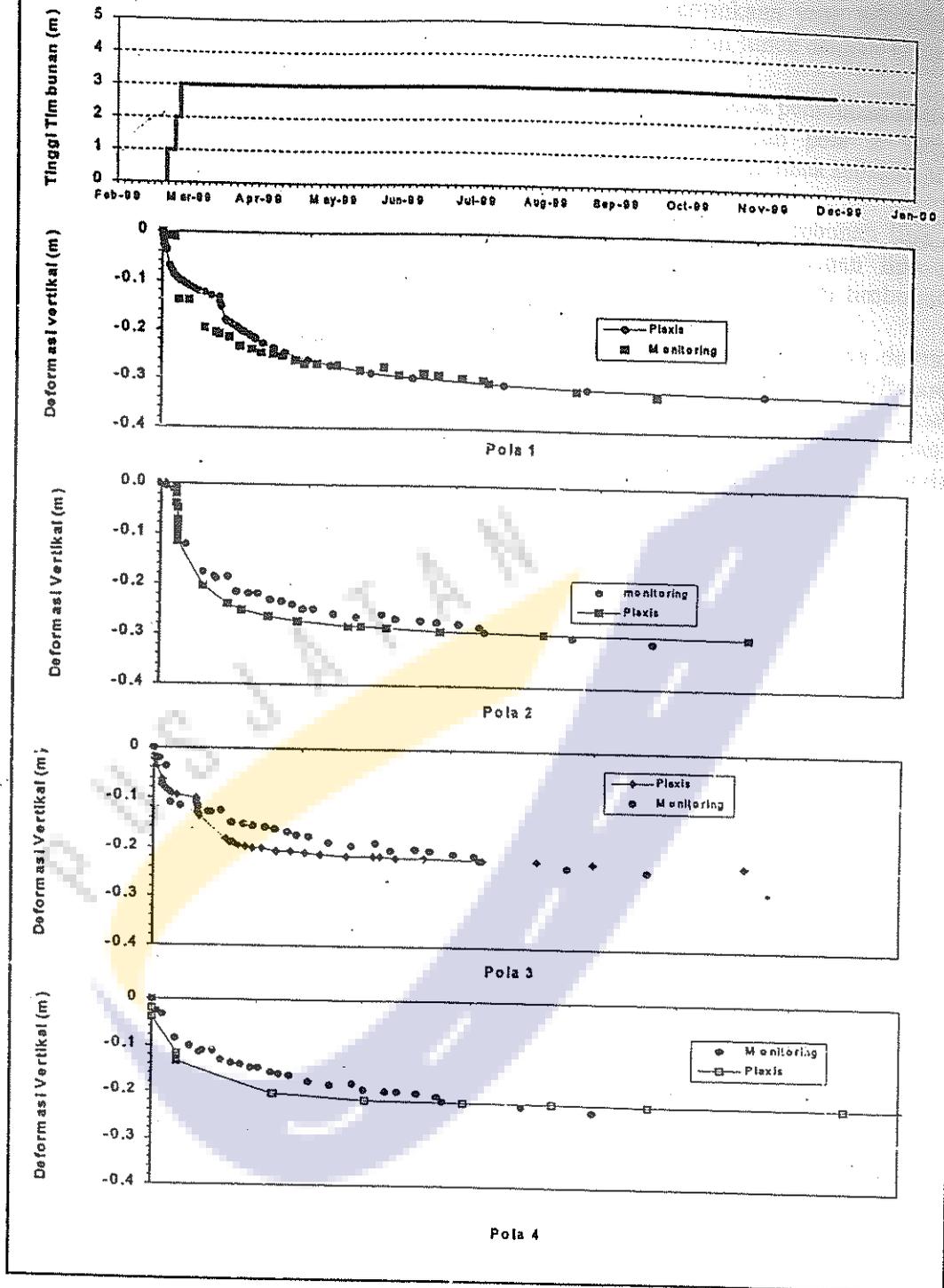
Sedangkan grafik penurunan terhadap waktu hasil pemodelan dibandingkan dengan data hasil monitoring *settlement plate* dapat dilihat pada gambar 9.

Dari pemodelan timbunan uji untuk masing-masing tipe didapat pola deformasi vertikal timbunan seperti pada gambar 9. Dari hasil monitoring sampai hari ke 200 menunjukkan bahwa pada timbunan tipe kedua dapat mereduksi penurunan sampai 5% dibanding timbunan normal, timbunan tipe ketiga dapat mereduksi penurunan sampai 26% dibanding timbunan normal, sedangkan timbunan tipe keempat dapat

mereduksi penurunan sampai 29% dibanding timbunan normal.

Dari hasil analisa balik menggunakan model tanah *soft soil creep* menunjukkan bahwa perilaku deformasi pada timbunan dan juga estimasi kurva hubungan deformasi vertikal terhadap waktu mendekati data hasil monitoring lapangan. Perbedaan yang tampak mungkin terletak pada kurva hubungan deformasi vertikal terhadap waktu, terutama pada fase elastis, hal ini mungkin disebabkan masih kurang akurat dalam mengestimasi parameter permeabilitas tanahnya.

Tahapan konstruksi Timbunan



Gambar 9. Perbandingan penurunan faktual dan hasil pemodelan dengan metode elemen hingga

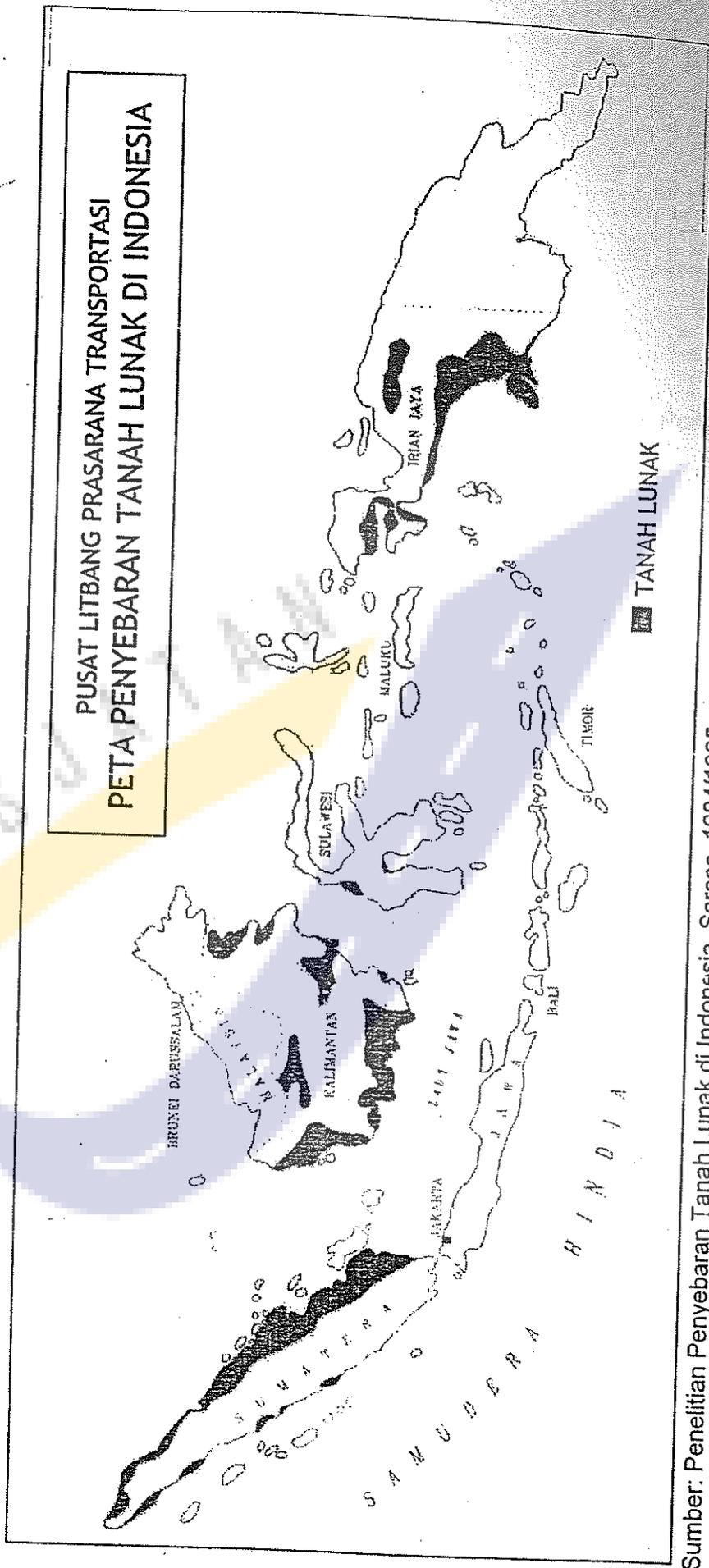
7. Kesimpulan

1. Uji timbunan dengan menggunakan teknologi stabilisasi permukaan yang dikombinasikan dengan cerucuk mampu mengurangi penurunan untuk kasus tanah lunak dengan kedalaman 5 – 10 m.
2. Timbunan pola 3 dan 4 yang menggunakan cerucuk mengalami beda penurunan (*differential settlement*) pada timbunannya lebih kecil dibanding pola 1 dan pola 2 yang tidak menggunakan cerucuk, hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan cerucuk sebagai perkuatan dapat mereduksi penurunan ataupun beda penurunan.
3. Dari hasil monitoring sampai hari ke 200 menunjukkan bahwa pada timbunan tipe 2 dapat mereduksi penurunan sampai 5% dibanding timbunan normal, timbunan tipe 3 dapat mereduksi penurunan sampai 26% dibanding timbunan normal, sedangkan timbunan tipe 4 dapat mereduksi penurunan sampai 29% dibanding timbunan normal.
4. Untuk pondasi mengambang (*floating foundation*) cerucuk kayu di mana daya dukung yang bekerja hanya lekatannya, dalam kasus ini dimodelkan dengan beam dalam software plaxis didapat bahwa parameter beam ekuivalen cerucuk hasil coba-coba berdasarkan data *loading test* sebagai validasinya didapat bahwa yang paling berpengaruh mengalami perubahan adalah nilai berat cerucuk, sedangkan perubahan parameter kekakuan dan geometri pada *beam* menjadi tidak begitu signifikan.
5. Model tanah *soft soil creep* dari plaxis yang dipakai dalam pemodelan analisa balik pada kasus ini menghasilkan keluaran yang cukup realistik bila dibandingkan dengan data faktual hasil monitoring dilapangan.

Lampiran D

(Informatif)

Peta penyebaran tanah lunak di Indonesia



Sumber: Penelitian Penyebaran Tanah Lunak di Indonesia, Saroso, 1984/1985

Lampiran E

(Informatif)

Daftar nama dan lembaga

1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Ex. Departemen Kimpraswil.

2) Penyusun

Nama	Lembaga
Ir. Deddi Soetedi	Puslitbang Prasarana Transportasi
Drs. M. Suherman	Puslitbang Prasarana Transportasi
Ir. Slamet Prabudi	Puslitbang Prasarana Transportasi

Bibliografi

- Das, Braja M. 1990. *Principles of Foundation Engineering*. PWS-KENT Publishing Company: United States of America.
- Hardiyatmo, Hary Christiady. 1994. *Mekanika Tanah 2*. PT Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Hermin Cahjati. 1996-1997. *Penelitian Stabilisasi Dangkal dengan Geosta di Tanah Lunak, Tumbangnusa, Kalimantan Tengah*.
- Hermin Cahjati. 1993-1994. *Penelitian Satbilisasi dangkal dengan bahan Cleanset pada tanah lunak, Kompleks Pustrans Bandung*.
- Japan-Indonesia Joint Project on Shallow Stabilization for Road Construction 1999, Penjaringan Junction/Toll Road Air Port-Cengkareng, North Jakarta Indonesia. Ministry of Construction, Japan dan Ministry of Settlement and Regional Development, The Republic of Indonesia & Infrastructure Development Institute-Japan.
- Japan-Indonesia Joint Study Project on Soft Ground Improvement (2001), *Manual for Design and Construction of Soft Ground Improvement with Shallow Layer Stabilization Technique and Short-Piles*, Public Work Research Institute, Ministry of Construction of Japan dan Directorate General of Highways, Ministry of Human Settlement and Regional Development of Indonesia.
- Suherman & Suhaimi Daud. 1994-1995. *Penelitian Stabilisasi dangkal dengan bahan New Hard, Gohong – Pulangpisau Kalimantan Tengah*.
- Suhaimi Daud. 1994-1995. *Penelitian Cerucuk Kayu di Tanah Lunak, Gohong-Pulangpisau, Kalimantan Tengah*.
- 008/T/BM/1999 (No. 03/KPTS/Db/1999). *Tata cara perencanaan pembuatan jalan di atas tanah gambut menggunakan pondasi galar kayu (buku 1)*
- 009/T/BM/1999 (No. 03/KPTS/Db/1999). *Tata cara pelaksanaan pembuatan jalan di atas tanah gambut menggunakan pondasi galar kayu (buku 2)*
- 029/T/BM/1999 (No. 76/KPTS/Db/1999). *Tata cara pelaksanaan pondasi cerucuk kayu di atas tanah lembek dan tanah gambut*