

foundat. engineering

R/
~~SR4.15~~ SR4.15
NN
01

MILIK PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA	
Diterima	25 JUN 2001
Inventarisasi	1097/TS/2001
Klasifikasi	Rf 624.15/kns 01
Katalog	:
Selesai diproses	:



**ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG
DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS***

TUGAS AKHIR SARJANA STRATA SATU

Oleh :

BERNADETTA KUSUMANINGRUM

No. Mahasiswa : 8552/TSS

NPM : 97 02 08552



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA
YOGYAKARTA
APRIL 2001**



PENGESAHAN

Tugas Akhir Sarjana Strata Satu

ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS*

Oleh :

BERNADETTA KUSUMANINGRUM

No. Mahasiswa : 8552/TSS

NPM : 97 02 08552

telah diperiksa, disetujui dan diuji oleh Dosen Pembimbing

Yogyakarta, 2001

Pembimbing I



(Ir. J. Tri Hatmoko, M.Sc.)

Pembimbing II

17/04/2001



(Ir. Justin Ali, SE., M.Eng.)

Disahkan oleh :

Ketua Program Studi Teknik Sipil



(Ir. Wiryawan Sardjono, M.T.)



KETIKA SATU PINTU KEBAHAGIAAN TERTUTUP,
PINTU YANG LAIN TERBUKA,
TETAPI SERINGKALI KITA MELIHAT TERLALU LAMA
PADA PINTU YANG TERTUTUP ITU, SEHINGGA
TIDAK MELIHAT BAHWA PINTU YANG LAIN
TELAH TERBUKA UNTUK KITA
(HELEN KELLER)

Dipersembahkan untuk :

- ✧ Tuhanku Yesus Kristus, terima kasih atas rahmat dan perlindungan yang telah Engkau berikan kepadaku selama ini.
- ✧ Papa, Mama, mBak Ida, Kak Ewi, Mas Erwin, Mas Onny, atas cinta, dorongan dan saat-saat indah yang diberikan. Ina tahu bahwa Ina telah mendapatkan yang terbaik.
- ✧ dokter Joko, untuk perhatian, pengertian dan kasih sayang yang telah diberikan. Terima kasih karena telah begitu baik dan sabar kepada Ina. I'm gonna saving all my love for you.

KATA HANTAR

Puji dan syukur penyusun panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Pengasih karena penyertaan-Nya sehingga Tugas Akhir ini telah selesai. Begitu banyak kesulitan yang dialami dalam penulisan ini, tetapi karena kasih-Nya yang begitu besar akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.

Sebagai manusia biasa penyusun menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dan masih banyak kekurangannya baik dari segi materi, susunan maupun cara penyajian. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan saran-saran dan pengarahan dari semua pihak untuk perbaikan dan kesempurnaan Tugas Akhir ini

Penyusun tidak melupakan budi baik semua pihak yang telah membantu sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu dengan kerendahan hati penyusun mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. John Tri Hatmoko, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing I yang telah dengan sabar membantu dan membimbing selama penulisan Tugas Akhir ini. Pengertian yang Bapak tunjukkan begitu besar sehingga kesulitan-kesulitan yang ada dapat terlewati.
2. Bapak Ir. Justin Ali, S.E., M.Eng, selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dengan penuh kesabaran bahkan meminjamkan buku-buku untuk melengkapi Tugas Akhir ini.
3. Yenni Irawati dan Chrystie Puspita atas kritik, saran dan dorongan yang telah diberikan

4. Deny Ernanda atas bantuan yang telah banyak diberikan selama penyusunan Tugas Akhir ini
5. Semua pihak yang telah membantu penyusun selama penulisan Tugas Akhir ini

Akhirnya penyusun berharap agar Tugas Akhir ini dapat berguna bagi semua pihak yang memerlukan.

Yogyakarta, Maret 2001

Penyusun

Bernadetta Kusumaningrum

No. Mahasiswa : 8552/TSS

INTISARI

ANALISIS PERCEPATAN KONSOLIDASI TANAH LEMPUNG DENGAN METODE *VERTICAL DRAINS*, Bernadetta Kusumaningrum, No. Mahasiswa: 8552, Tahun 2001, PPS Struktur, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Konsolidasi pada tanah lempung akan terjadi dalam waktu yang cukup lama, untuk itu diperlukan suatu metode untuk mempercepat laju konsolidasi. Metode yang digunakan adalah kombinasi *preloading* dan *vertical drains*. *Preloading* mempercepat konsolidasi dengan memberikan tambahan tekanan pada permukaan tanah, sedangkan *vertical drains* dapat mempercepat laju konsolidasi dengan menyediakan alur drainase lebih pendek sehingga air dapat keluar dari rongga tanah dengan cepat.

Metode *vertical drains* yang banyak berkembang adalah *sand drain* dan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD). Pada perencanaan *sand drain* dihasilkan jarak antar kolom *sand drain* 4,9 m, sedangkan jarak antar PVD adalah 1 m. Dari hasil tersebut nampak bahwa *sand drain* lebih ekonomis dibandingkan PVD ditinjau dari jarak yang diperoleh, namun demikian pada *sand drain* ada beberapa kelemahan antara lain terjadinya penyumbatan (*clogging*) yang berakibat berkurangnya kinerja sistem *vertical drains* tersebut. Penyumbatan tersebut disebabkan oleh ukuran pori pasir yang dalam hal ini ukuran butiran pasir (D_{15}) yang berkisar antara 0,068 s/d 0,52 mm, sedangkan ukuran butiran tanah yang 90 % tertahan oleh PVD pada Mebradrain[®] adalah 0,076 mm, pada Flodrain[™] 0,155 mm. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa ukuran pori PVD lebih kecil daripada ukuran pori *sand drain*, namun demikian kemampuan menyerap air tidak berkurang karena permeabilitas bahan yang tinggi (pada Mebradrain[®] $k_g = 1,6667 \cdot 10^{-3}$ m/dt sedangkan pada Flodrain[™] $k_g = 7 \cdot 10^{-4}$ m/dt).

Dari segi pemasangan, penggunaan PVD lebih ekonomis dibandingkan *sand drain* karena waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan PVD yang lebih singkat dibandingkan *sand drain*. Pemasangan *sand drain* membutuhkan waktu 2 s/d 20 menit, sedangkan pada PVD hanya 1-5 menit.

Kelebihan lain yang dimiliki PVD adalah PVD merupakan bahan sintetik, sehingga dalam penggunaannya lebih fleksibel. *Sand drain* merupakan bahan alami sehingga sulit untuk membuat bahan yang benar-benar sesuai dengan kriteria yang ada.

Kata kunci : konsolidasi, percepatan laju konsolidasi, *vertical drains*, *sand drain*, PVD, penyumbatan (*clogging*)

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN	iii
KATA HANTAR	iv
INTISARI	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Permasalahan	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Tanah Lempung	5
2.2. Konsolidasi	5
2.3. Penurunan Konsolidasi	5
2.4. Permeabilitas	6
2.5. Prapembebanan (<i>Preloading</i>)	8
2.5.1. Menentukan besarnya penurunan yang terjadi	9
2.6. <i>Vertical Drains</i>	10
2.7. Kombinasi <i>Preloading</i> dan <i>Vertical Drains</i>	11
2.8. <i>Sand Drain</i>	12
2.8.1. Cara pemasangan <i>Sand Drain</i>	12
2.8.2. Kriteria <i>filter Sand Drain</i>	13
2.8.3. Langkah-langkah Perhitungan <i>Sand Drain</i>	14
2.9. Penentuan Tebal Perkerasan	16
III. PREFABRICATED VERTICAL DRAINS (PVD)	21
3.1. Gambaran Umum	21
3.2. Inti (<i>core</i>) PVD	22
3.3. Jaket (<i>Filter</i>) PVD	24
3.3.1. Kriteria <i>filter</i>	26
3.4. <i>Mandrel</i>	28
3.5. Pemasangan PVD	29
3.5.1. Metode penekanan (statik)	30
3.5.2. Metode getaran (dinamik)	31
3.6. Konfigurasi Pemasangan PVD	31
3.7. Diameter Ekvivalen PVD	32
3.8. Kriteria PVD	33
3.8.1. Kekuatan PVD	33

3.8.2.	Kekuatan Filter	33
3.8.3.	Kapasitas tampung PVD (q_w)	34
3.8.4.	Permeabilitas filter	34
3.9.	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kinerja PVD	34
3.9.1.	Faktor akibat jarak antar PVD	34
3.9.2.	Faktor <i>well-resistance</i>	35
3.9.3.	Faktor akibat efek <i>smear</i>	36
3.10.	Langkah-langkah Perhitungan PVD	38
IV.	METODOLOGI PENELITIAN	40
4.1.	Menentukan Koefisien-koefisien Sifat Tanah	41
4.1.1.	Menentukan karakteristik konsolidasi	41
4.1.2.	Menentukan koefisien permeabilitas	41
4.2.	Menentukan Beban Rencana	41
4.3.	Beban Timbunan	42
4.4.	Menentukan Besar Penurunan	42
4.5.	Menentukan Karakteristik PVD	43
V.	PERENCANAAN	44
5.1.	Penentuan Tebal Perkerasan	44
5.1.1.	Lalu-lintas Harian Rata-rata	44
5.1.2.	Lintas Ekuivalen Rencana	45
5.1.3.	Indeks Tebal Perkerasan	46
5.2.	Pembebanan	48
5.2.1.	Beban Rencana	48
5.2.2.	Beban Timbunan (p_f)	48
5.3.	Menentukan Besarnya Penurunan (S_{pf})	49
5.3.1.	Menentukan nilai perubahan angka pori (Δe)	50
5.3.2.	Menentukan besarnya penurunan akibat beban timbunan (S_{pf})	51
5.4.	Koefisien Permeabilitas Tanah	53
5.4.1.	Koefisien permeabilitas arah vertikal (k_v)	54
5.4.2.	Koefisien permeabilitas arah horisontal (k_h)	55
5.5.	Perhitungan Karakteristik Konsolidasi	55
5.6.	Perhitungan <i>Sand Drain</i>	57
5.6.1.	Syarat diameter butiran pasir	57
5.6.2.	Faktor yang mempengaruhi kinerja <i>Sand Drain</i>	57
5.6.3.	Penentuan jarak antar kolom <i>Sand Drain</i>	58
5.7.	Karakteristik PVD	59
5.8.	Perhitungan PVD dengan Mebradrain®	60
5.8.1.	Kriteria ukuran pori	60
5.8.2.	Kriteria kapasitas tampung (q_w)	62
5.8.3.	Kriteria Permeabilitas	62
5.8.4.	Faktor akibat jarak antar PVD	63
5.8.5.	Faktor akibat efek <i>smear</i>	64
5.8.6.	Faktor <i>well-resistance</i>	65
5.8.7.	Faktor yang mempengaruhi kinerja PVD	66
5.8.8.	Menentukan jarak antar PVD	67

5.9.	Perhitungan PVD dengan Flodrain™	68
5.9.1.	Kriteria ukuran pori	68
5.9.2.	Kriteria kapasitas tampung (q_w)	70
5.9.3.	Kriteria Permeabilitas	70
5.9.4.	Faktor akibat jarak antar PVD	71
5.9.5.	Faktor akibat efek <i>smear</i>	71
5.9.6.	Faktor <i>well-resistance</i>	73
5.9.7.	Faktor yang mempengaruhi kinerja PVD	74
5.9.8.	Menentukan jarak antar PVD	74
VI.	PEMBAHASAN	79
6.1.	Hasil Perhitungan	79
6.1.1.	Karakteristik konsolidasi	79
6.1.2.	<i>Sand drain</i>	79
6.1.3.	PVD	79
6.2.	Penurunan	80
6.3.	Derajat Konsolidasi	81
6.4.	Jarak drainase	82
6.5.	Penyumbatan	83
6.6.	Bahan	85
6.7.	Pemasangan	85
6.8.	Pemilihan Waktu Konsolidasi	86
6.9.	Diameter Ekuivalen	86
VII.	KESIMPULAN DAN SARAN	87
7.1	Kesimpulan	87
7.2	Saran	88
	KATA PENUTUP	89
	DAFTAR PUSTAKA	90
	LAMPIRAN	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
2.1	Lapisan Tanah	8
2.2	Pemasangan <i>Sand Drain</i>	13
2.3	Konfigurasi Pemasangan <i>Sand Drain</i>	15
3.1	Bentuk Geometris Beberapa Variasi Inti PVD	22
3.2	Fungsi <i>Filter</i>	25
3.3	<i>Mandrel</i>	29
3.4	Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	29
3.5	Konfigurasi Pemasangan PVD	31
3.6	Perkiraan Daerah yang Terusik	37
3.7	Grafik Derajat Konsolidasi Radial dan Vertikal Hubungan Carillo (1942)	38
5.1	Rencana Lapis Perkerasan	47
5.2	Distribusi Beban roda terhadap Lapis Perkerasan	48
5.3	Rencana Timbunan	48
5.4	Lapisan Tanah yang Ditinjau	49
5.5	Nilai Permeabilitas Lapisan Tanah yang Ditinjau	54
5.6	Rencana Pemasangan Kolom <i>Sand Drain</i>	59
5.7	Rencana <i>Mandrel</i> dengan Mebradrain®	64
5.8	Rencana Pemasangan Mebradrain®	68
5.9	Rencana <i>Mandrel</i> dengan Flodrain™	72
5.10	Rencana Pemasangan Flodrain™	75

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
2.1	Angka Ekivalen (E) Beban Sumbu Kendaraan	17
2.2	Faktor Regional	19
3.1	Hasil Tes Laboratorium pada PVD	24
3.2	Kriteria <i>Filter</i> geosintetik menurut <i>US. Army Corp. Of Engineering.</i>	27
3.3	Kriteria <i>Filter</i> Jerman menurut Heerten(1982)	27
3.4	Kriteria <i>Filter</i> berdasarkan <i>German Working Group 14</i>	27
5.1	Tabel Karakteristik Konsolidasi	50
5.2	Koefisien Permeabilitas Tanah dari Uji Konsolidasi	53
5.3	Karakteristik Konsolidasi pada Variasi Waktu (t)	76
5.4	Jarak antar <i>Vertical drains</i> pada variasi waktu (t) dengan Konfigurasi Segitiga	77
5.5	Jarak antar <i>Vertical drains</i> pada variasi waktu (t) dengan Konfigurasi Segiempat	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Judul	Halaman
1	Grafik Hubungan Jarak (s) terhadap Waktu (t) untuk Konfigurasi Segitiga	93
2	Grafik Hubungan Jarak (s) terhadap Waktu (t) untuk Konfigurasi Segiempat	94
3	Korelasi DDT dan CBR	95
4	Indeks Permukaan	96
5	Koefisien Kekuatan Relatif	97
6	Batas-batas Minimum Tebal Lapisan Perkerasan	99
7	Nomogram untuk Berbagai Nilai IPT dan Ipo	100

DAFTAR NOTASI

C_c	= Indeks kompresibilitas
C_h	= Koefisien konsolidasi arah horisontal
C_r	= Indeks rekompresi
C_v	= Koefisien konsolidasi arah vertikal
d_m	= Diameter ekivalen mandrel
d_s	= Diameter tanah yang terusik oleh adanya pemasangan PVD
d_w	= Diameter ekivalen PVD
e	= Angka pori
Δe	= Perubahan angka pori
e_o	= Angka pori awal
$F(n)$	= Faktor yang mempengaruhi kinerja drainase vertikal
F_n	= Faktor akibat jarak antar drainase vertikal
F_r	= Faktor akibat <i>well-resistance</i>
F_s	= Faktor akibat efek <i>smear</i>
k_g	= Koefisien permeabilitas bahan
k_h	= Koefisien permeabilitas arah horisontal
k_s	= Koefisien permeabilitas horisontal pada daerah yang terganggu
k_v	= Koefisien permeabilitas arah vertikal
m_v	= Koefisien perubahan Volume
Δp	= Perubahan beban
p_f	= Beban Timbunan
p'_o	= Tekanan <i>overburden</i> efektif rata-rata
s	= Jarak antar PVD
S_{pf}	= Penurunan konsolidasi primer pada beban timbunan p_f
T_v	= Faktor waktu konsolidasi
U_r	= Derajat konsolidasi arah horisontal
U_v	= Derajat konsolidasi arah vertika
U_{vr}	= Derajat konsolidasi arah vertikal dan horisontal