

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Menyelesaikan
Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1)



Dikerjakan Oleh :

ERIES APRILIAWAN

NIM : 02.204.2719

WIDHY ANGGORO

NIM : 02.205.2828

**FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
SEMARANG
2011**



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)

FAKULTAS TEKNIK

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG

Disusun oleh :



Eries Apriliawan

NIM : 02.204.2719



Widhy Anggoro

NIM : 02.205.2828

Telah disetujui dan disahkan di Semarang Tanggal : 03/03/2011

Oleh :

Dosen Pembimbing I

Prof. Ir. H. Pratikso, MST, PhD

NIK : 21028812

Dosen Pembimbing II

Abdul Rochim, ST, MT

NIK : 210200031

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik UNISSULA Semarang



Ir. H. Kartono Wibowo, MM, MT

NIK : 210291015



**YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK**

Jl. Raya Kaligawe Km. 4 Po Box 1054 Telp (024) 583584 Fax. 582455 Semarang 50012

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No. :08/A.1/8A – T/II/2010

Pada hari ini Tanggal 2011 berdasarkan Surat Keputusan Rektor Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang perihal penunjukan Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Nama : Prof, Ir. H. Pratikso, MST, PhD
Jabatan Akademik : Guru Besar
Jabatan : Dosen Pembimbing I
2. Nama : Abdul Rochim, ST, MT
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing II

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir / Skripsi :

1. Nama : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719
2. Nama : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828

Dengan Judul : **“ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH
DISPOSAL AREA KALI SEMARANG”**

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan Dosen Pembimbing	Maret 2010	
2.	Proposal	April 2010	
3.	Pengumpulan Data	Juni 2010	
4.	Analisis Data	Juli 2010	
5.	Penyusunan Laporan	Agustus 2010	
6.	Selesai Laporan	Februari 2011	

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Ir. H. Pratikso, MST, PhD
NIK : 210200031

Abdul Rochim, ST, MT
NIK : 210200031

**Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
UNISSULA Semarang**



Ir. H. Kartono Wibowo, MM, MT
NIK: 210291015

ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG

Oleh :

Eries Apriliawan¹⁾, Widhy Anggoro¹⁾, Pratikso.²⁾, Abdul Rochim.²⁾

Abstraksi

Disposal Area adalah pengerukan tanah pada dasar sungai lalu menimbunnya pada samping kanan dan kiri sungai tersebut, hal ini dilakukan agar sungai tersebut tidak terjadi pendangkalan akibat sedimen-sedimen yang mengendap pada dasar sungai atau kali tersebut.

Pada Tugas Akhir ini menganalisa tentang penurunan tanah timbunan dengan menggunakan *software* program PLAXIS dan dengan menggunakan material PVD dengan cara manual. Untuk perhitungan penurunan dengan cara manual dihitung dengan menggunakan rumus *Terzaghi*. Sedangkan perhitungan dengan *software* menggunakan program PLAXIS (*Finite Element Code For Soil And Rock Analyses*) yang merupakan suatu program elemen terbatas yang digunakan untuk menganalisa deformasi atau perubahan bentuk dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan Teknik Sipil.

Hasil perhitungan penurunan yang terjadi antara perhitungan manual dengan perhitungan menggunakan program PLAXIS tidak jauh beda yaitu secara manual penurunan konsolidasi sebesar 0,411 m dan penurunan segera sebesar 0,111 m, sedangkan dengan menggunakan program PLAXIS penurunan konsolidasi sebesar 0,333 m dan penurunan segera sebesar 0,311 m. Sedangkan hasil perhitungan perbaikan tanah dasar dengan material PVD lebih menguntungkan karena pemampatan tanah akan lebih cepat terjadi. Sebelum dilakukan perbaikan dengan PVD diketahui bahwa timbunan tanah akan mengalami penurunan sebesar 0,391 m – 0,526 m yang berlangsung selama $\pm 166,9$ tahun. Pada umur 2 tahun sejak timbunan dilaksanakan diperkirakan penurunan tanah dasar baru mencapai 20%. Sedangkan dengan memakai sistem PVD berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa dengan pola pemasangan segitiga dengan jarak 1,1 m, dengan skala penurunan $U_r = 90\%$ waktu penurunan hanya berkisar selama 3,7 minggu.

Kata Kunci : Penurunan, PLAXIS, *Prefabricated Vertical Drains*.

¹⁾ Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Angkatan 2005.

²⁾ Dosen Fakultas Teknik Sipil Jurusan Teknik Sipil UNISSULA.

MOTTO

MOTTO :

- ❖ *“Hai orang-orang yang beriman, mintalah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan salat; sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.”*

(Qs. Al-Baqarah ayat 153)

- ❖ *“Bacalah dengan (menyebut) nama tuhanmu Yang menciptakan. Dia telah Menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Paling Pemurah. Yang mengajar (manusia) dengan perantaraan kalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.”*

(Q.S. Al ‘Alaq : 1 - 5)

- ❖ *“Maka apakah mereka tidak melakukan ‘nazhor’ pada (serta memperhatikan) Onta, bagaimana ia diciptakan? Dan langit, bagaimana ia ditinggikan? Dan gunung – gunung, bagaimana ia ditancapkan? Dan bumi, bagaimana ia dihamparkan?.”*

(Q.S. Al Ghaasiyah : 17-20)

- ❖ *“Demi masa. Sesungguhnya manusia itu benar-benar berada dalam kerugian. Kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal saleh dan nasehat menasihati supaya mentaati kebenaran dan nasehat menasihati supaya menetapi kesabaran.”*

(Q.S. Al-Ashr : 1 - 3)

PERSEMBAHAN

Eries Apriliawan

Terimakasih Semua Kutujukan Kepada :

❖ Allah SWT

Sembah sujud dan syukurku atas segala anugerah, kemudahan, kebahagiaan, keajaiban yang telah diberikan dan hidayahNya sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.

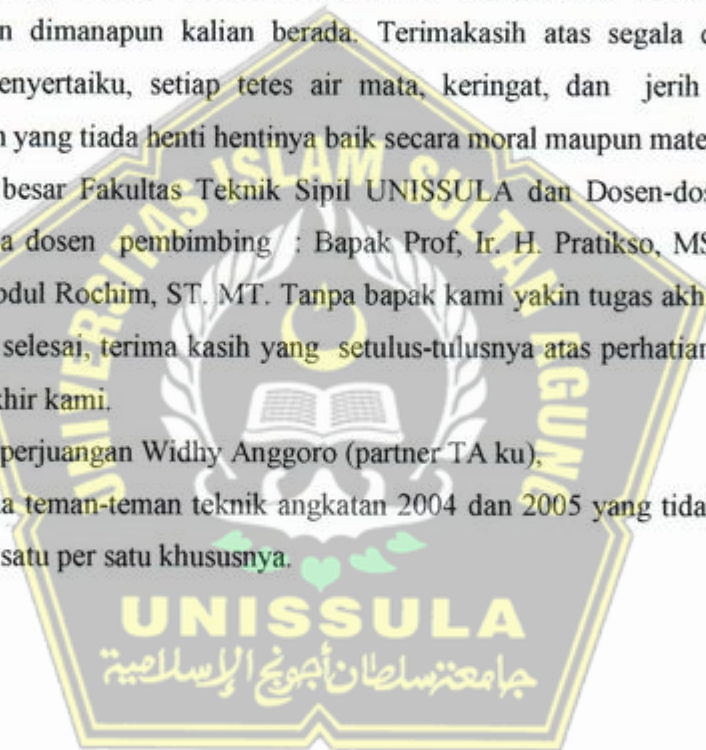
❖ Bapak dan Ibuku tercinta

Kepada Bapak Heri Utomo dan Ibu Siti Istikomah. Tanpa beliau aku bukan apa-apa, Semoga selalu diberikan kesehatan, keselamatan, kebahagiaan, dan kemuliaan dimanapun kalian berada. Terimakasih atas segala doanya yang selalu menyertaiku, setiap tetes air mata, keringat, dan jerih payah serta dukungan yang tiada henti hentinya baik secara moral maupun material.

❖ Keluarga besar Fakultas Teknik Sipil UNISSULA dan Dosen-dosen Unissula khususnya dosen pembimbing : Bapak Prof, Ir. H. Pratikso, MST, PhD dan Bapak Abdul Rochim, ST. MT. Tanpa bapak kami yakin tugas akhir kami tidak mungkin selesai, terima kasih yang setulus-tulusnya atas perhatian bapak pada Tugas Akhir kami.

❖ Teman Seperjuangan Widhy Anggoro (partner TA ku),

❖ Dan semua teman-teman teknik angkatan 2004 dan 2005 yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu khususnya.



Widhy Anggoro

Terimakasih Semua Kutujukan Kepada :

❖ Allah SWT

Sembah sujud dan syukurku atas segala anugerah, kemudahan, kebahagiaan, keajaiban yang telah diberikan dan hidayahNya sehingga dapat terselesaikannya Tugas Akhir ini.

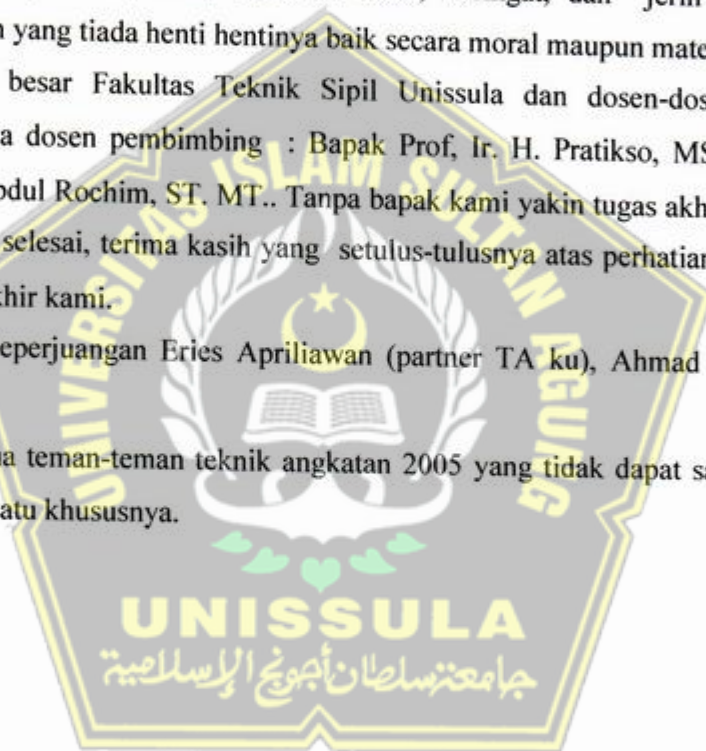
❖ Orang Tuaku tercinta

Kepada Bapak Amin Basuki dan Ibuku Kadariah. Tanpa beliau aku bukan apa-apa, Semoga selalu diberikan kesehatan, keselamatan, kebahagiaan, dan kemuliaan dimanapun kalian berada. Terimakasih atas segala doanya yang selalu menyertaiku, setiap tetes air mata, keringat, dan jerih payah serta dukungan yang tiada henti hentinya baik secara moral maupun material.

❖ Keluarga besar Fakultas Teknik Sipil Unissula dan dosen-dosen Unissula khususnya dosen pembimbing : Bapak Prof, Ir. H. Pratikso, MST, PhD dan Bapak Abdul Rochim, ST. MT.. Tanpa bapak kami yakin tugas akhir kami tidak mungkin selesai, terima kasih yang setulus-tulusnya atas perhatian bapak pada Tugas Akhir kami.

❖ Teman Seperjuangan Eries Apriliawan (partner TA ku), Ahmad Nashiruddin Khakim.

❖ Dan semua teman-teman teknik angkatan 2005 yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu khususnya.



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr,Wb.

Segala puji kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan karunia-Nya kami dapat menyelesaikan dan mewujudkan Tugas Akhir ini.

Setelah menemui berbagai problema, maka tersusunlah Tugas Akhir ini yang berjudul “ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG ”, diantaranya akan membahas mengenai maksud dan tujuan penyusunan laporan Tugas Akhir dan tinjauan umum mengenai laporan Tugas Akhir yang kami susun.

Tugas akhir merupakan salah satu syarat untuk mengikuti ujian pendadaran dalam memperoleh gelar sarjana, pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang, dimana setiap mahasiswa pada akhir perkuliahan diwajibkan membuat Tugas Akhir, sehingga dalam penyusunannya sangat berkaitan dengan mata kuliah yang selama ini diberikan kepada mahasiswa, dan juga merupakan pengembangan dari berbagai disiplin ilmu yang sangat berkaitan dengan bahan kuliah pada Fakultas Teknik Sipil.

Selesaiannya laporan ini tidak lepas dari bantuan semua pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. H. Kartono Wibowo, MM, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Abdul Rochim, ST, MT, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan sebagai Dosen Pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, pemikiran hingga selesainya Tugas Akhir ini. .
3. Bapak Prof, Ir. H. Pratikso, MST, PhD, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan bimbingan, pemikiran, kritik, saran dan dorongan semangat yang luar biasa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak. Prof, Dr, Ir. S. Imam Wahyudi, DEA, selaku Dosen Wali.

5. Bapak dan Ibu Dosen Faklutas Teknik Unissula, terima kasih atas bekal ilmu yang diberikan kepada penulis selama ini.
6. Bapak, Ibu staf-staf BAP dan Perpustakaan Fakultas Teknik Unissula, terima kasih atas bantuannya dalam mengurus administrasi dan hal peminjaman buku.
7. Teman-teman angkatan 2005 yang tidak bisa kami sebutkan satu-persatu disini.
8. Semua pihak yang telah membantu tersusunnya laporan tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa pembuatan Tugas Akhir ini masih mempunyai keterbatasan, untuk itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat diharapkan. Akhir kata semoga ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis sendiri dan bermanfaat bagi siapa saja yang ingin mempelajarinya, Amin.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Semarang, Februari 2011

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAKSI	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Batasan Penelitian	3
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan Tugas Akhir	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Keadaan Topografi	6
2.2 Sejarah Penurunan Tanah	6
2.3 Klasifikasi Tanah	7
2.4 Struktur Dan Air Tanah	8
2.5 Penurunan Tanah	10
2.6 Penurunan Segera (<i>immediate settlement</i>)	10
2.7 Penurunan Konsolidasi (<i>consolidation settlement</i>)	11
2.8 Waktu Konsolidasi	12
2.9 Konsolidasi	13

2.10 Perhitungan H Kritis.....	18
2.11 <i>Prefabricated Vertical Drains (PVD)</i>	19
2.12 <i>Prefabricated Horizontal Drains (PHD)</i>	22
2.13 Program Komputer PLAXIS	22

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian.....	23
3.2. Analisis Data	23
3.3. Teknik Pengolahan Data.....	23
3.4. Deskripsi Analisa Data.....	24
3.4.1 Persiapan	25
3.4.2 Study Pustaka	25
3.4.3 Pengolahan Data	25
3.4.4 Analisis Data dan Pembahasan.....	27
3.4.5 Kesimpulan.....	27
3.4.6 Penyusun Laporan.....	27

BAB IV ANALISIS PENURUNAN TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG

4.1. Kondisi Lapisan Tanah.....	28
4.2. Permasalahan Penurunan	29
4.2.1 Besar Penurunan	29
4.2.2 Waktu Penurunan.....	48
4.2.3 Perhitungan Waktu Penurunan Berdasarkan Derajat Konsolidasi Tanah.....	49
4.3. Analisis Perhitungan dengan Program PLAXIS V 7.12.....	51
4.3.1 Permodelan Instalasi Timbunan	56
4.3.2. Prosedur Perhitungan dengan Metode PLAXIS.....	56
4.4. Hasil Analisa dan Pembahasan	56
4.5. Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar.....	79
4.2.1 Teori Dasar Pemilihan	79
4.2.1 Perhitungan Perbaikan Tanah Dengan PVD	81

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	86
5.2. Saran	86

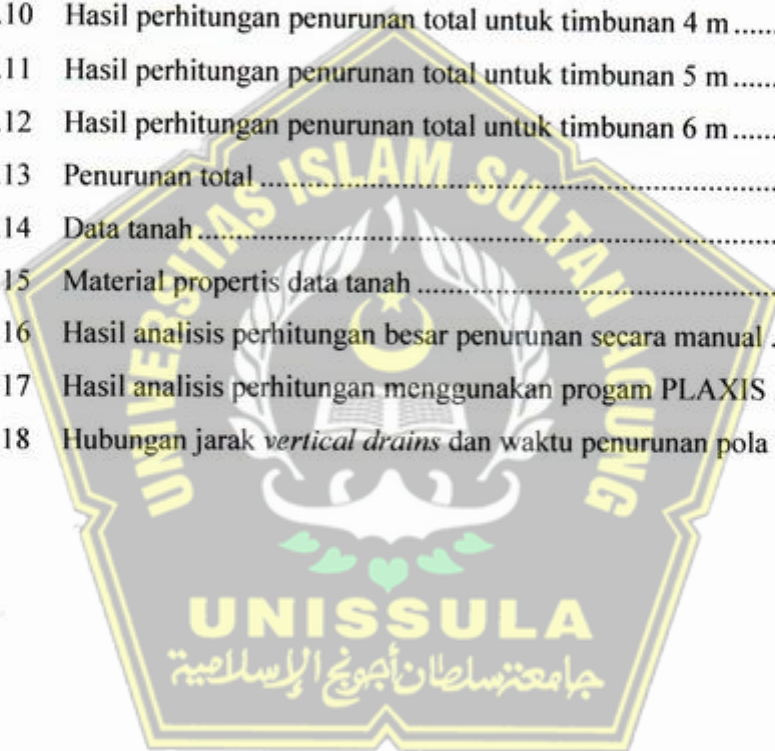
DAFTAR PUSTAKA.....	xviii
---------------------	-------

LAMPIRAN.....	xx
---------------	----



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 3 m	33
Tabel 4.2 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 4 m	34
Tabel 4.3 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 5 m	35
Tabel 4.4 Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 6 m	36
Tabel 4.5 Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 3 m.....	39
Tabel 4.6 Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 4 m	40
Tabel 4.7 Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 5 m.....	41
Tabel 4.8 Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 6 m.....	42
Tabel 4.9 Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 3 m	44
Tabel 4.10 Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 4 m	45
Tabel 4.11 Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 5 m	45
Tabel 4.12 Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 6 m	46
Tabel 4.13 Penurunan total	47
Tabel 4.14 Data tanah	52
Tabel 4.15 Material propertis data tanah	54
Tabel 4.16 Hasil analisis perhitungan besar penurunan secara manual	79
Tabel 4.17 Hasil analisis perhitungan menggunakan progam PLAXIS	79
Tabel 4.18 Hubungan jarak <i>vertical drains</i> dan waktu penurunan pola segitiga.	84



DAFTAR GAMBAR

No Gambar	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi	15
Gambar 2.2.	Tanpa vertikal drain	19
Gambar 2.3.	Dengan vertikal drain	20
Gambar 4.1.	Pelapisan tanah	32
Gambar 4.2.	Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan konsolidasi pada timbunan 3 m, 4 m, 5m dan 6 m	37
Gambar 4.3.	Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan segera pada timbunan 3 m, 4 m, 5m dan 6 m	43
Gambar 4.4.	Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan total pada timbunan 3 m, 4 m, 5m dan 6 m	46
Gambar 4.5.	Grafik hubungan tinggi timbunan dengan penurunan tanah total...	48
Gambar 4.6.	Grafik hubungan derajat dan waktu konsolidasi tanah.....	51
Gambar 4.7.	Model Instalasi PVD	56
Gambar 4.8.	Kotak dialog <i>Create/Open Project</i>	57
Gambar 4.9.	Properties tanah pada <i>tab generals</i>	58
Gambar 4.10.	Properties tanah pasir pada <i>tab parameters</i>	59
Gambar 4.11.	Properties tanah pasir pada <i>tab interfaces</i>	59
Gambar 4.12.	Properties tanah pada <i>tab generals</i>	60
Gambar 4.13.	Properties tanah lempung pada <i>tab parameters</i>	60
Gambar 4.14.	Properties tanah lempung pada <i>tab interfaces</i>	60
Gambar 4.15.	Properties tanah timbunan pada <i>tab generals</i>	61
Gambar 4.16.	Properties tanah timbunan pada <i>tab parameters</i>	61
Gambar 4.17.	Properties tanah timbunan pada <i>tab interfaces</i>	62
Gambar 4.18.	<i>Finite Element Mesh</i>	63
Gambar 4.19.	<i>Initial Conditions</i>	64
Gambar 4.20.	Tekanan Air Tanah	65
Gambar 4.21.	Tekanan Tanah pada Tahap Awal	65
Gambar 4.22.	Jendela <i>calculations</i>	67
Gambar 4.23.	<i>Select Points Connectivities</i>	68

Gambar 4.24. Kalkulasi (<i>Calculations</i>)	69
Gambar 4.25. <i>Deformed Mesh Phase 1</i>	69
Gambar 4.26. <i>Excess Pore Pressures Phase 1</i>	70
Gambar 4.27. <i>Effective Stresses Phase 1</i>	70
Gambar 4.28. <i>Deformed Mesh Phase 2</i>	71
Gambar 4.29. <i>Excess Pore Pressures Phase 2</i>	71
Gambar 4.30. <i>Effective Stresses Phase 2</i>	72
Gambar 4.31. <i>Deformed Mesh Phase 3</i>	72
Gambar 4.32. <i>Excess Pore Pressures Phase 3</i>	73
Gambar 4.33. <i>Effective Stresses Phase 3</i>	73
Gambar 4.34. <i>Deformed Mesh Phase 4</i>	74
Gambar 4.35. <i>Excess Pore Pressures Phase 4</i>	74
Gambar 4.36. <i>Effective Stresses Phase 4</i>	75
Gambar 4.37. <i>Deformed Mesh Phase 5</i>	75
Gambar 4.38. <i>Excess Pore Pressures Phase 5</i>	76
Gambar 4.39. <i>Effective Stresses Phase 5</i>	76
Gambar 4.40. <i>Deformed Mesh Phase 6</i>	77
Gambar 4.41. <i>Excess Pore Pressures Phase 6</i>	77
Gambar 4.42. <i>Effective Stresses Phase 6</i>	78
Gambar 4.43. Prinsip perbaikan tanah metode prakompresi	80
Gambar 4.44. Tipikal pekerjaan prakompresi dengan penggunaan PVD.	81
Gambar 4.45. Pola Pemasangan <i>Prefabricated Vertical Drains</i> (PVD).	84
Gambar 4.46. Material <i>Prefabricated Vertical Drains</i> (PVD).	85
Gambar 4.47. Pelaksanaan <i>Prefabricated Vertical Drains</i> (PVD) di lapangan....	85

DAFTAR NOTASI

C	= Kuat geser tanah tak terdrainase dalam kN/m^2
C'	= Parameter kekuatan geser (tegangan efektif) terdrainasi
C_u	= Parameter kekuatan geser (tegangan total) terdrainasi
C_c	= Indeks pemampatan (<i>compression index</i>) lapisan tanah ke i
C_r	= Index pemampatan kembali
C_s	= <i>Swelling index</i> pada lapisan tanah ke i
C_v	= Koefisien konsolidasi tanah dasar
e_o	= Angka pori
$F(n)$	= Fungsi hambatan akibat jarak antara PV drain
H	= Tebal lapisan tanah lunak
H_i	= Tebal lapisan tanah ke i
P_o'	= <i>Effektive overburden pressure</i> ditengah-tengah lapisan ke i
P_c	= <i>Effektive past overburden pressure</i> , tegangan konsolidasi masa lampau yang lebih besar dari pada P_o'
P_c'	= Tekanan pra konsolidasi
P'	= Tegangan
P_I'	= Tegangan efektif
q_c	= <i>Conus resistance</i>
SF	= <i>Safety Factor</i>
γ	= berat volume tanah (Kg/m^3)
e	= void ratio
Sci	= Pemampatan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau
U_r	= Derajat konsolidasi
S	= Jarak pemasangan PVD
D	= Diameter ekuivalen akibat pengaruh PVD
D_w	= Diameter ekuivalen dari PVD
t	= Waktu pemampatan konsolidasi pada tanah dasar
T_v	= Faktor waktu, untuk konsolidasi vertikal
U_h	= Derajat konsolidasi tanah arah horizontal
Δp	= Penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (tengah lapisan ke i)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Semarang adalah satu diantara kota besar di Indonesia dan menjadi Ibu kota Propinsi Jawa Tengah. Luas daerah administrasi 373,4 km dengan jumlah penduduk 1.419.478 jiwa terdiri dari 16 kecamatan dan 117 kelurahan dengan laju pertumbuhan 1,47 % setiap tahun. (BPS Kota Semarang 2005). Daerah dataran rendah di Kota Semarang sangat sempit, yakni sekitar 4 kilometer dari garis pantai, dataran rendah ini dikenal dengan sebutan kota bawah, kawasan kota bawah seringkali dilanda banjir, dan di sejumlah kawasan, banjir ini disebabkan luapan air laut (rob). Di sebelah selatan merupakan dataran tinggi, yang dikenal dengan sebutan kota atas, di antaranya meliputi Kecamatan Mijen, Gunungpati, dan Banyumanik, kota yang berada di daerah Semarang bawah merupakan salah satu diantara kota yang memiliki permasalahan yang serius terkait dengan penurunan kawasan (*land subsidance*) hal ini disebabkan karena adanya beban bangunan, pengambilan air tanah yang tidak teratur, selain letaknya di tepi pantai utara Jawa juga merupakan muara Kali Semarang, dan sering dilanda banjir. Akibat tanah turun maka lambat laun tinggi kawasan permukiman menjadi lebih rendah dari rata-rata permukaan air laut, sehingga apabila terjadi pasang, air laut akan menggenangi permukiman. Penurunan tanah menjadi masalah yang serius karena penurunan tanah tersebut terjadi di kawasan permukiman padat, oleh karena itu laju penurunan tanah akan semakin cepat seiring dengan beban bangunan terhadap tanah yang semakin tinggi.

Daerah Semarang Utara mulai dari Muara Kali Garang, bentuk melingkar ke arah selatan dan semakin melebar ke arah utara sampai sebelah barat Muara Kali Ongko Rawe. Umumnya merupakan pusat kegiatan perdagangan, perkantoran, industri. Air tanah pada umumnya disadap dari akuifer Endapan Delta Garang dengan kedudukan muka air tanah antara 10-

20 m.aml. Indikasi penurunan tanah dan penyusupan air asin sudah semakin jelas pada beberapa tempat di daerah ini. Penyusupan air laut kedalam air tanah telah terjadi di sekitar Tanah Mas, Tugumuda, Pandanaran, dan Simpanglima. Untuk menghindari kemungkinan terjadinya dampak negatif yang lebih luas, maka daerah-daerah ini terlarang untuk melakukan pengambilan air tanah baru untuk keperluan industri.

Kota Semarang dan sekitarnya merupakan bagian Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Garang, Kali Semarang, Kali Kripik dan Kali Kreo apabila terjadi hujan dengan intensitas tinggi dan dalam waktu yang lama air akan mengalir kepermukiman yang lebih rendah lewat sungai dan saluran drainase.

1.2 Permasalahan

Mengacu pada data penyelidikan tanah, permasalahan yang dihadapi pada Disposal Area Kali Semarang ini adalah kondisi timbunan tanah yang terdapat pada samping kanan dan kiri Kali Semarang mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena timbunan tanah tersebut terletak pada tanah lempung yang sangat ekspansif. Penurunan yang terjadi umumnya berupa penurunan yang bersifat tetap atau yang disebut dengan deformasi plastis atau permanen. Deformasi plastis terjadi karena adanya kembang susut yang besar dari tanah lempung, yang menjadi tanah dasar sehingga terjadi penurunan tanah berlebihan. Disamping itu penurunan juga dapat disebabkan karena adanya perubahan musim dan pengaruh beban yang terdapat diatas timbunan tersebut.

Untuk mengatasi penurunan tersebut berbagai cara telah dilakukan antara lain dengan memasang *geotextile* dan *geomembrane* yang merupakan bagian geosintetis, juga dengan stabilitas tanah, akan tetapi tidak berhasil dengan baik, masih banyak timbunan yang longsor karena pengaruh tanah ekspansif maupun akibat beban diatas timbunan yang berlebih, sehingga deformasi plastis tetap terjadi.

Tujuan dari Prakompresi tanah dasar yang merupakan topik dari Tugas Akhir ini adalah untuk mendapatkan tanah dasar yang stabil dengan

daya dukung yang cukup untuk dapat memikul timbunan dan beban diatasnya tidak mengalami penurunan berlebihan.

Dari uraian di atas dapat dirumaskan permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Seberapa besar dan lamanya penurunan tanah alluvial akibat sifat mekanika tanah dan pembebanan dengan menggunakan perhitungan manual dengan program PLAXIS (*Finite Element Code For Soil And Rock Analyses*).
2. Mengetahui perilaku air pori berlebih (*excess pore water pressure*) akibat preloading yang diberikan beberapa tahap.
3. Mengetahui hubungan *excess pore water pressure* dengan daya dukung tanah dalam hal ini tentang efektif tanah.
4. Mengetahui stabilisasi disposal area kali Semarang dengan cara preloading dan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).

1.3 Batasan Penelitian

Agar permasalahan yang akan penulis bahas hanya pada batasan menganalisis data yang telah didapat dan kemudian data digunakan untuk menganalisis Penurunan Dan Stabilisasi Disposal Area Kali Semarang

Analisis data dan perhitungan dilakukan dengan program Plaxis dengan perhitungan manual meliputi :

1. Dengan cara manual dihitung dengan menggunakan formula ID (*One Dimension*) Terzaghi.
2. Tipe tanah yang diteliti adalah *normally consolidated (NC)*.
3. Derajat konsolidasi yang diteliti adalah 90%.

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas maka, tujuan yang ingin dicapai dari program ini adalah Tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengetahui besar penurunan tanah Disposal area Kali Semarang.
2. Mengetahui waktu/lama penurunan tanah.
3. Mengetahui perilaku air pori berlebih (*excess pore water pressure*) dan tegangan efektif tanah karena adanya beban timbunan.
4. Mengetahui perbandingan penurunan (*Settlement*) yang dihitung dengan rumus ID (*One Dimension*) Terzaghi dengan program PLAXIS (*Finite Element Code For Soil And Rock Analyses*).
5. Merencanakan stabilisasi tanah dengan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*).

1.5 Sistematika Laporan Tugas Akhir

Pembahasan metode perbaikan tanah dasar akan diberikan dalam 5 bab yang terdiri atas :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi mengenai latar belakang secara umum yang mendasari pembuatan Tugas Akhir ini, serta pembatasan dan sistematika laporan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tinjauan kepustakaan tentang topografi, macam dan susunan tanah lempung, konsolidasi dan penurunan.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tentang jenis dan sumber data, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, diagram alur analisis.

BAB IV : ANALISIS PENURUNAN TANAH

Pada bab ini berisi tentang hasil perhitungan penurunan secara manual dan dibanding dengan program PLAXIS

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Keadaan Topografi

Berdasarkan kondisi topografi Semarang terletak pada elevasi dibawah +0 sampai +350 m dpl, bahkan terdapat daerah yang elevasinya dibawah +0 m (HATTI, 1994). KOTA Semarang setiap musim penghujan selalu dilanda banjir khususnya pada daerah rendah, bahkan pada daerah yang rendah dan lokasinya dekat dengan pantai meskipun tidak turun hujan terjadi banjir genangan akibat pasang air laut. Menurut Sutikno, (1993). Kota dibagian utara (kota bawah) yang berbatasan dengan laut jawa memiliki beberapa problem yang berkaitan dengan topografi. Problem-problem yang timbul di lingkungan pantai utara antara lain abrasi, sedimentasi, genangan, intrusi air laut, pengendapan angin, erosi angin, penggaraman tanah dan pencemaran tanah.

2.2 Sejarah Penurunan Tanah

Penurunan tanah akibat pemompaan air tanah diteliti pertama kali oleh Rappleye dalam Poland dan Devisi (1969) di Lembah Santa Clara, Sandana Rappleye, Bell (1992) mengadakan penelitian di Lembah Las Vegas Nevada dan Gelth (2006) di Arizona bahwa penurunan tanah disebabkan oleh pengambilan air tanah yang berlebihan sehingga muka air tanah mengalami penurunan akibatnya terjadi penurunan volume sedimen. Pemampatan air tanah khususnya di negara – negara yang industrinya maju telah mengakibatkan terjadinya penurunan tanah terutama pada tahun empat puluhan hingga tujuh puluhan. Sementara di negara-negara berkembang seperti Indonesia perkembangan industrinya dimulai pada tahun 1980, diikuti penurunan tanah hingga sekarang. Kota-kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Bandung dan Semarang tingkat pengambilan air tanah melebihi kemampuannya, sehingga berakibat terjadinya penurunan tanah.

Laju dan dalamnya penurunan tanah diberbagai tempat berbeda-beda, tergantung pada kondisi geologi, hidrologi, Intensitas pemampatan air tanah dan sifat-sifat mekanik tanah atau batuan.

2.3 **Klasifikasi Tanah**

Klasifikasi tanah sangat membantu perencanaan dalam memberikan pengarahannya melalui cara empiris yang tersedia dari hasil pengalaman yang telah ada. Namun hal itu tidak mutlak, karena perilaku tanah sangatlah sukar untuk diduga atau diperkirakan. Didalam mengklasifikasi tanah terdapat dua sistem klasifikasi yaitu :

- *Textural Classification System*
- *United Classification System*

System klasifikasi berdasarkan hasil-hasil percobaan di laboratorium paling banyak dipakai adalah analisis ukuran butir dan batas-batas atterberg. Ada dua golongan tanah, tanah yang berbutir kasar yaitu <50% melalui ayakan No.200. Tanah-tanah berbutir halus kemudian diklasifikasikan atas dasar plastisitasnya dan kadar persenyawaan organik. Dalam hal ini ukuran butir bukan merupakan dasar dalam pembagiannya. Sedangkan tanah-tanah kasar dibagi menjadi pasir dan kerikil dan kemudian dibagi menjadi tanah yang mengandung bahan-bahan halus dan tanah yang tidak mengandung bahan-bahan halus. Huruf-harf yang dipakai untuk tanah berbutir halus adalah sebagai berikut:

. Huruf Pertama :

O : (Organis)

C : Lempung (*Clay*)

M : Lumpur/Lanau (*Mud*)

Huruf Kedua :

H : Batas Cair Tinggi (*High Liquid Limit*)

L : Batas Cair Rendah (*Low Liquid Limit*)

Dengan mengkombinasikan antara huruf pertama dengan huruf kedua, maka akan terdapat enam jenis kelompok tanah yaitu OH, OL, MH, dan ML. Khusus klasifikasi golongan lempung dan lanau, dilakukan dengan

menggunakan diagram plastisitas yang merupakan hubungan antara PI dan PL.

Klasifikasi system AASHTO (*AASHTO Clasification System*)

1. Ukuran butir

Kerikil : Bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75mm (3 inci) dan yang tertahan pada ayakan No.10 (2 mm).

Pasir : Bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan NO. 200 (0,075).

Lumpur : Bagian tanah yang lolos ayakan No. 200

Lempung : Bagian tanah yang lolos ayakan No. 200

2. Plastisitas

Nama bernalu dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas (*Plasticity Index/PI*) sebesar 10 atau kurang. Sedangkan nama lempung dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastisitas sebesar 11 atau lebih.

3. Batuan

Apabila batuan (ukuran lebih dari 75 mm).

2.4 Struktur dan Air Tanah

Di dalam pengertian tehnik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari butiran (agregat) mineral-mineral padat yang tersementasi (terikat secara kimiawi) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut.

Kapasitas Daya Dukung Dengan Uji SPT

Uji lapangan yang digunakan penulis dalam perhitungan daya dukung tanah adalah dengan uji SPT. Uji SPT dilakukan dengan cara sebagai berikut:

Prosedur pengujian SPT adalah sebagai berikut (ASTM D1586) :

1. Bor tanah dengan diameter lubang 60-200 mm sampai kedalaman yang diuji.
2. Pasang *slipt barrel sampler* di ujung pipa bor.
3. Dengan menggunakan tali (kawat), tarik pemukul (berat 63,5 kg) setinggi 70 cm dan jatuhkan. Energi yang ditimbulkan mendesak samper ke dasar lubang bor. Ulangi pemukulan sampai samper terpenetrasi 45 cm, dengan mencatat jumlah pukulan sampai interval penetrasi 15 cm. Hentikan pengujian jika jumlah pukulan lebih dari 50 pukulan untuk tiap-tiap interval, atau jika jumlah pukulan lebih dari 100 pukulan.
4. Hitung nilai N dengan menjumlahkan jumlah pukulan 30 cm terakhir (jumlah pukulan untuk 15 cm pertama tidak dihitung, hanya untuk referensi, karena pada dasar lubang bor tanah rusak akibat pengeboran).
5. Angkat ke atas sampler SPT, dan ambil contoh tanah dalam sampler.
6. Lanjutkan pengeboran untuk uji SPT pada kedalaman selanjutnya.

Uji SPT di dalam tanah kerikil atau tanah pasir yang berkerikil halus dianalisis hati-hati, karena bila alat pendorong sekelompok krikil akan berakibat jumlah pukulan yang lebih banyak. Umumnya dilakukan hitungan rata-rata statistik dari lapisan pada kedalaman yang sama, pada tiap-tiap titik pengujian. Dari hasil yang diperoleh, dapat ditentukan jumlah pukulan yang dianggap benar, yang selanjutnya akan dipergunakan dalam perancangan.

2.5 Penurunan Tanah

Jika lapisan tanah terbebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh berubahnya susunan tanah maupun oleh pengurangan rongga pori/air di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan sepanjang kedalaman lapisan merupakan penurunan total dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi.

2.6 Penurunan Segera (*immediate settlement*)

Penurunan segera adalah penurunan yang terjadi pada tanah butiran kasar dan tanah tidak jenuh terjadi dengan segera sesudah beban bekerja. Penurunan pada kondisi ini disebut penurunan segera yang merupakan bentuk penurunan elastis. Kasus ini banyak dijumpai pada pondasi struktur yang terletak pada tanah yang berbutir kasar (glanular).

Pada pengeboran ini data berdasarkan nilai SPT yang dikorerasikan dengan nilai konus maka dapat dihitung menurut **Mayerhof – Terzaghy** sbb: Untuk pondasi dalam bila $D_f / B \geq 1,0$ maka rumus yang digunakan adalah : *immediate settlement*

$$q_c = \frac{400 N}{98,06} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

q_c = Tahanan kerucut statis

N = Jumlah pukulan

Penurunan pondasi pada tanah glanular dapat dihitung dari hasil tes uji kerucut statis (*statie cone penetration test*) De Been dan Marten (1957) mengusulkan persamamn angka kompresi (C) yang di ikatkan dengan persamaan Buisman, sebagai berikut :

$$C = \frac{1,5 q_c}{p_o'} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

C = Angka pemantapan (angka kompresibilitas)

q_c = Tahanan kerucut statis

po' = Tekanan *overburden* efektif

Suatu q_c dan po' harus sama, nilai C ini, kemudian disubstitusikan kedalam persamaan Terzaghi untuk penurunan pada lapisan tanah yang ditinjau yaitu:

$$S_1 = \frac{H}{C} \ln \frac{po' + \Delta p}{po'} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

S_1 = Penurunan segara (m) dari lapisan setebal H (m)

po' = Tekanan *overburden* efektif awal, yaitu tegangan efektif sebelum beban bekerja.

Δp = Tambahan tegangan vertikal di tengah-tengah lapisan oleh tegangan akibat beban pondasi netto.

2.7 Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanah. Rumus yang dipakai adalah sbb:

$$Sc = Cc \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0'} \text{ dengan } P_1' = P_0' + \Delta p \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana:

Sc = Penurunan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke 1

H = Tebal lapisan tanah yang ditinjau

e_0 = Angka pori awal

Cc = Index penurunan (*compression index*) untuk lempung terkonsolidasi normal = 0,00115.WN menurut Rendon-Herrero, (1980)

p_0' = *Effective overburden pressure* di tengah-tengah lapisan ke-i

Δp = Penambahan tegangan vertikal titik yang ditinjau (tengah lapisan ke-i)

p_1' = Tegangan total

Sebagian besar penurunan disebabkan oleh pengurangan angka pori bila beban vertikal bertambah dan akan bertambah angka porinya bila bebannya dikurangi. Penurunan juga bisa diakibatkan oleh pembebanan yang bekerja di atasnya. Berikut ada beberapa penyebab terjadinya penurunan akibat beban yang bekerja di atasnya yaitu:

1. Kegagalan atau keruntuhan geser akibat terlampauinya kapasitas dukung tanah
2. Kerusakan atau terjadi defleksi yang besar pada pondasi.
3. Distorsi geser (*shear distortion*) dari tanah pendukungnya.
4. Turunnya tanah akibat perubahan angka pori.

Seperti yang telah disebutkan penurunan total dari tanah yang berbutir halus yang jenuh adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi. Penurunan konsolidasi masih dibedakan menjadi penurunan akibat konsolidasi primer dan penurunan akibat konsolidasi sekunder. Bila dinyatakan dalam persamaan adalah:

$$S = S_c + S_i \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

S = penurunan total

S_c = penurunan konsolidasi

S_i = penurunan segera

2.8 Waktu Konsolidasi

Terzaghi dan Taylor dalam Holts (1985) yang pertama kali memperkenalkan teori kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air dengan anggapan sebagai berikut:

- Tanah (sistem lempung air) homogen
- Tanah besar-besar jenuh
- Kemampuan memampatkan air diabaikan
- Aliran air hanya satu arah (pada arah pemampatan)
- Berlaku hukum Darcy

Variasi derajat konsolidasi rata-rata terhadap faktor waktu yang tidak berdimensi (T_v) diberikan dalam tabel. Harga faktor waktu dalam derajat konsolidasi (U) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Untuk } U = 0 \text{ sampai } 90\%, T_v = \frac{\pi \left(\frac{u\%}{100} \right)^2}{4} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\text{Untuk } U = > 90\%, T_v = 1781 - 0,933 \log (100-U\%) \dots\dots\dots(2.7)$$

$$t = \frac{H^2 T_v}{C_v} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

- t = Waktu panurunan konsolidasi pada lapisan tanah dasar.
- H = Tebal lapisan tanah lunak.
- C_v = Koefisien konsolidasi tanah dasar.
- T_v = Faktor waktu untuk konsolidasi vertikal.

2.9 Konsolidasi

Bilamana suatu lapisan tanah mengalami penambahan beban diatasnya, maka air pori akan mengalir dari lapisan tersebut dan isinya (volumenya) akan menjadi lebih kecil, yaitu akan terjadi konsolidasi. Konsolidasi adalah pengurangan pelan-pelan volume pori yang berakibat bertambahnya berat volume kering akibat beban statis yang bekerja pada periode tertentu. Pada umumnya konsolidasi ini akan berlangsung satu jurusan saja, yaitu jurusan vertikal, karena lapisan yang kena tambahan beban itu tidak dapat bergerak dalam jurusan horisontal (ditahan oleh tanah sekelilingnya).

Dalam kondisi tersebut pengaliran air juga akan berjalan terutama dalam jurusan vertikal saja. Ini disebut *one-dimensional consolidation* (konsolidasi satu jurusan) dan perhitungan konsolidasi selalu berdasarkan teori tersebut. Pada waktu konsolidasi berlangsung, bangunan yang ada diatasnya tersebut akan menurun (*settle*). Dalam bidang teknik sipil ada dua hal yang perlu diketahui mengenai penurunan, yaitu :

1. Besarnya penurunan yang akan terjadi.
2. Kecepatan penurunan.

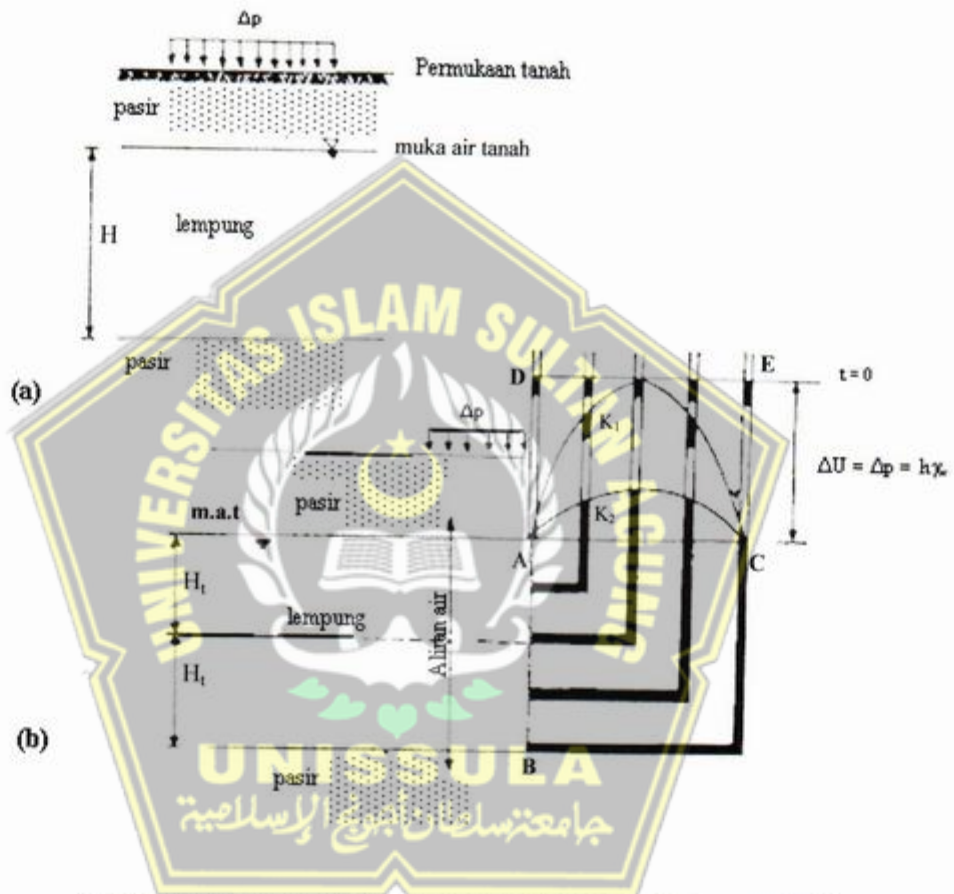
Bilamana tanah terdiri dari lempung maka penurunan akan agak besar sedangkan jika tanah terdiri dari pasir, penurunan akan kecil. Karena itu lempung dikatakan mempunyai *high compressibility* dan pasir mempunyai *low compressibility*. Penurunan pada lempung biasanya memakan waktu yang lama, karena adanya rembesan air yang sangat rendah. Sebaliknya penurunan pada pasir berjalan dengan cepat sehingga pada waktu pembangunan diatas pasir sudah selesai maka penurunan juga dianggap sudah selesai. Oleh karena itu hal-hal ini maka biasanya hanya penurunan pada lapisan lempung yang akan diperhitungkan dan teori konsolidasi yang diterapkan disini hanya dimaksudkan untuk tanah lempung.

Sebagai contoh nyata kejadian konsolidasi di lapangan dapat dilihat pada **Gambar 2.1a**. Disini diperlihatkan suatu pondasi yang dibangun diatas tanah lempung jenuh yang diapit oleh lapisan tanah pasir dengan tinggi muka air tanah dibatas lapisan lempung sebelah atas. Dengan pembebanan, lapisan lempung mengalami kenaikan tegangan sebesar Δp . air pori didalam lapisan lempung ini dianggap dapat mengalir dengan baik ke lapisan pasir dan arah alirannya hanya ke atas dan ke bawah saja. Dianggap pula bahwa besarnya tegangan Δp sama disebarkan kedalam lapisan lempung.

Jalannya proses konsolidasi dapat diamati lewat pipa *piezometer* yang dipasang disepanjang kedalaman tanah lempung (**Gambar 2.1.b**), sedemikian hingga tinggi air dalam pipa piezometer menyatakan besarnya *kelebihan tekanan air pori (excess pore water pressure)* dilokasi pipa dipasang.

Akibat tambahan tekanan Δp , yaitu segera setelah beban bekerja, tinggi air dalam pipa piezometer naik setinggi $h = \Delta p / \gamma_w$ (atau terdapat kenaikan tekanan air pori sebesar $\Delta p = h \gamma_w$) yang dinyatakan oleh garis *DE*. Garis *DE* ini menyatakan distribusi kelebihan tekanan air pori awal. Dalam waktu tertentu, tekanan air pori pada lapisan yang lebih dekat dengan lapisan pasir lebih dulu berkurang, sedangkan tekanan air pori lapisan lempung dibagian tengah masih tetap. Kedudukan ini ditunjukkan oleh kurva K_1 .

Dalam tahapan waktu sesudahnya ketinggian air dalam pipa ditunjukkan dengan pipa K_2 . setelah waktu yang lama, tinggi air dalam pipa *piezometer* mencapai kedudukan yang sama dengan kedudukan muka air tanah awal saat sebelum pembebanan (garis AC). Kedudukan garis AC ini menunjukkan proses konsolidasi telah selesai, yaitu ketika *kelebihan tekanan air pori* (Δu) telah nol.



Gambar 2.1 Reaksi tekanan air pori terhadap beban pondasi

- Pondasi pada tanah lempung
- Diagram perubahan tekanan air pori terhadap waktu

Pada awalnya, tiap kenaikan beban didukung sepenuhnya oleh air pori, yaitu berupa *kelebihan tekanan air pori* (Δu) yang besarnya sama dengan Δp . Dalam kondisi demikian tidak ada perubahan tegangan efektif

didalam tanah. Setelah air pori sedikit demi sedikit keluar dari rongga pori tanah lempung, secara berangsur-angsur tanah mampat, dan beban perlahan-lahan ditransfer kebutiran tanah, sehingga tegangan efektif bertambah. Akhirnya, kelebihan tekanan air pori menjadi nol. Pada kondisi ini, tekanan air pori sama dengan tekanan hidrostatik yang diakibatkan oleh tekanan air tanahnya.

Untuk menggambarkan suatu sifat penting dari tanah lempung digunakan istilah *normally consolidated* dan *overconsolidated*. Lapisan tanah lempung biasanya terjadi setelah proses pengendapan. Selama proses pengendapan, lempung mengalami konsolidasi atau penurunan, akibat tekanan tanah yang berada di atasnya. Lapisan tanah yang berada di atasnya ini suatu ketika mungkin akan hilang akibat proses alam. Hal ini berarti tanah lapisan bagian bawah pada suatu saat pada sejarah geologinya pernah mengalami konsolidasi akibat dari tekanan yang lebih besar dari tekanan yang bekerja sekarang. Tanah seperti ini disebut tanah *overconsolidated* (OC) atau *terkonsolidasi berlebihan*. Kondisi lain, bila tegangan efektif yang bekerja pada suatu titik didalam tanah pada waktu sekarang merupakan tegangan maksimumnya (atau tanah tidak pernah mengalami tekanan yang lebih besar dari tekanan pada waktu sekarang), maka lempung disebut pada kondisi *normally consolidated* (NC) atau *terkonsolidasi normal*.

Lempung pada kondisi *normally consolidated*, bila tekanan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*) (P_c') sama dengan tekanan *overburden efektif* (P_o'). sedang lempung pada kondisi *overconsolidated*, jika *tekanan prakonsolidasi* lebih besar dari pada tekanan *overburden efektif* yang ada pada waktu sekarang ($P_c' > P_o'$). Nilai banding *overconconsolidation* (*Overconcolidation Ratio, OCR*) didefinisikan sebagai nilai banding *tekanan prakonsolidasi* terhadap tegangan efektif yang ada, atau bila dinyatakan dalam persamaan :

$$OCR = \frac{P_c'}{P_o'} \dots\dots\dots(2.9)$$

Tanah *normally consolidated* mempunyai nilai $OCR = 1$, dan tanah *overconsolidated* mempunyai $OCR > 1$. dapat ditemui pula, tanah lempung mempunyai $OCR < 1$. Dalam hal ini tanah adalah sedang mengalami konsolidasi (*underconsolidated*).

Untuk lempung tertentu, penurunan konsolidasi dinyatakan oleh persamaan-persamaan berikut ini :

Bila didefinisikan :

$$P_1' = p_o' + \Delta p \dots \dots \dots (2.10)$$

- (a) Penurunan untuk lempung *normally consolidated* ($p_c' = p_o'$) dengan tegangan efektif sebesar p_1' ,

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_o'} \dots \dots \dots (2.11)$$

- (b) Untuk lempung *overconsolidated* ($p_c' > p_o'$) penurunan konsolidasi primer total dinyatakan oleh persamaan yang bergantung nilai p_1' .

1. Bila $p_1' < p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_o'} \dots \dots \dots (2.12)$$

2. Bila $p_1' > p_c'$

$$S_c = C_r \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_c'}{p_o'} + C_c \frac{H}{1 + e_o} \log \frac{p_1'}{p_o'} \dots \dots \dots (2.13)$$

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}; \text{ pada kurva penambahan beban atau pada } p' > p_c'.$$

Dari penelitian, untuk tanah *normaly consolidated*, Terzaghi dan Peck (1967) mengusulkan nilai C_c sebagai berikut : $C_c = 0,009(LL-10)$.

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log p'}; \text{ pada kurva pelepasan beban atau pada } p' > p_c'.$$

Dengan :

C_r = indeks pemampatan kembali

C_c = indeks pemampatan

H = tebal lapisan tanah

P_c' = tekanan prakonsolidasi

e_o = angka pori awal

Δp = tambahan tegangan akibat beban pondasi

P_1' = tegangan efektif

P_o' = tekanan *overburden* efektif mula-mula sebelum dibebani

2.10 Perhitungan H kritis

Perhitungan H kritis bertujuan untuk menentukan tinggi timbunan maksimum, dengan rumus:

Sebelum dibebani:

$$H \text{ kritis} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana qu didapat dari:

qu tanah dasar = 5,14 Cu

$$Cu = \frac{qc}{20} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.15)$$

Pada pembebanan pertama :

$\Delta \sigma_1 = \gamma \text{ timbunan} \times \text{tinggi timbunan}$

$$C_1 = Cu + (0,22 \times \Delta \sigma_1) \dots\dots\dots(2.16)$$

$qu = 5,14 \cdot C_1$

$$\text{Perhitungan } H \text{ kritis} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF}$$

Pada pembebanan kedua :

$\Delta \sigma_1 = \gamma \text{ timbunan} \times \text{tinggi timbunan 1}$

$\Delta \sigma_2 = \gamma \text{ timbunan} \times \text{tinggi timbunan 2}$

$$C_1 = Cu + (0,22 \times \Delta \sigma_1) + (0,22 \times \Delta \sigma_2) \dots\dots\dots(2.17)$$

$qu = 5,14 \cdot C_1$

$$\text{Perhitungan } H \text{ kritis} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF}$$

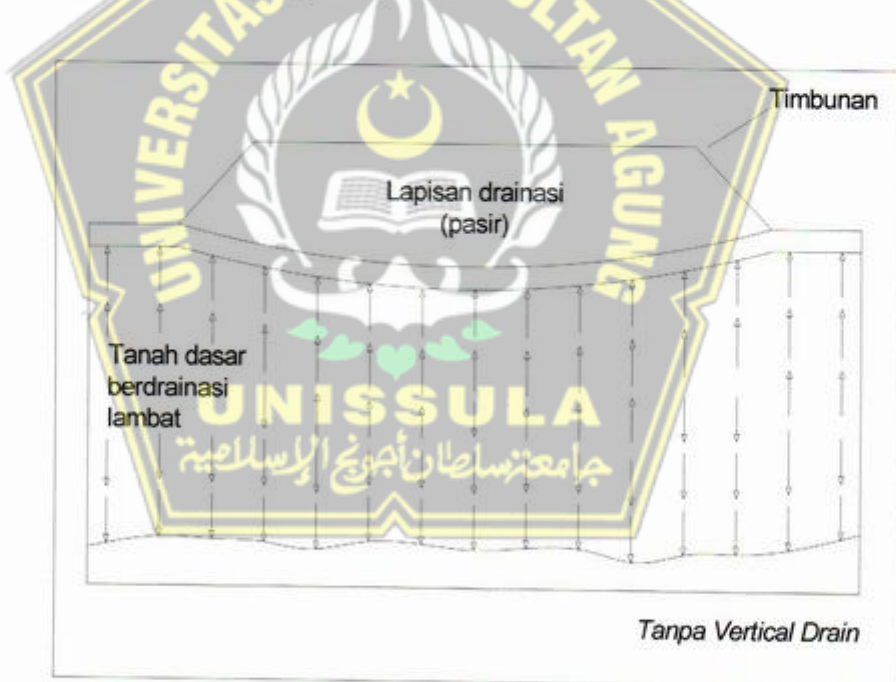
Dimana,

qc = nilai conus resistance

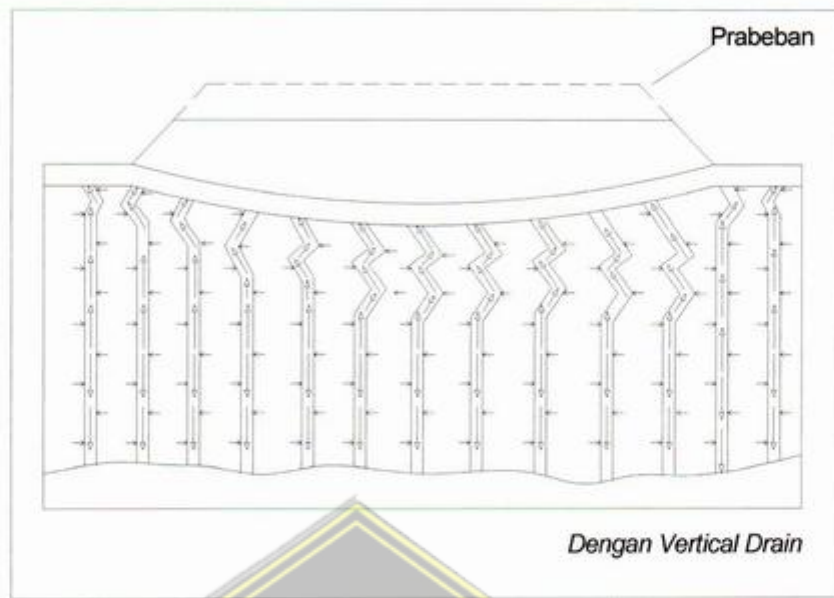
2.11 Prefabricated Vertical Drains (PVD)

Penggunaan PVD merupakan salah satu cara dalam mengatasi masalah tanah dasar lunak, yaitu dengan kinerja pemampatan pada bahan - bahan pembentuknya sehingga dapat mempercepat waktu penurunan. PVD merupakan semacam material geosintesis yang telah melalui berbagai macam uji dari pabrik produksi. Pemasangan material ini dimulai dengan memasang sepatu pelat pada ujung mandrel kemudian memasukkan mandrel kedalam tanah sampai kedalaman yang telah direncanakan. Setelah mencapai kedalaman yang direncanakan mandrel ditarik ke atas permukaan tanah kemudian dilakukan pemotongan PVD di atas permukaan tanah dengan menyisakan ujung atas sesuai dengan yang telah direncanakan.

PVD dapat memberikan solusi yang cepat terhadap masalah yang penting, yaitu masalah konsolidasi tanah kohesif atau tanah gambut yang lunak dibawah beban timbunan, dimana konsolidasi tersebut umumnya memerlukan waktu yang cukup lama.



Gambar 2.2 Tanpa vertical drain



Gambar 2.3 Dengan vertical drain

Prinsip kerjanya adalah mempercepat konsolidasi tanah kohesif dengan memberikan alur drainasi berpermeabilitas tinggi untuk mengatasi tekanan air pori yang berlebihan. Disipasi yang cepat mengurangi kelambatan proses konstruksi, yang biasanya dibutuhkan untuk menjamin kestabilan pada saat mempertinggi tanah timbunan.

PVD memiliki bentuk lapisan lentur terpadu yang terdiri dari saringan pembungkus dari bahan *non-woven polyester* dan inti terbuka tiga dimensi dari bahan *polyester* berserat tunggal yang dipersatukan pada bagian tepinya. Struktur labirin tersebut menghasilkan saluran terbuka yang saling berhubungan. Berdasarkan pengalaman, penyumbatan pada masing-masing saluran seperti banyak dialami pada inti berbentuk gelombang atau tonjolan tidak mungkin terjadi.

Karena kekakuan lateralnya, sehingga tidak tertekuk dan mempertahankan karakteristik aliran yang mantap bahkan pada tekanan tanah dan pergerakan lateral sekalipun. Penggunaan *polyester* dapat lebih menjamin ketahanan yang tinggi terhadap zat kimia dan serangan bakteri. Apabila dimasukkan kedalam tanah pada jarak-jarak tertentu dengan pola

yang teratur, konsolidasi primer akan dicapai dalam jangka waktu yang singkat. Jika diperlukan, teknik prabebean dapat diterapkan dalam kombinasi.

Bentuk dan kelenturan memudahkan pemasangan dengan memakai peralatan tentu tanpa menimbulkan gangguan yang berarti pada tanahnya. Konstruksi yang mantap ini menjamin keutuhan dari aliran yang sesudah pemasang. Keuntungan yang ekonomis yang utama adalah bertambah cepatnya peningkatan kekuatan geser lapisan tanah bagian bawah yang memungkinkan tanah timbunan dinaikkan dengan cepat disamping mempertahankan faktor keamanan terhadap kelongsoran, penurunan primer biasanya akan selesai selama masa konstruksi.

Penentuan pola serta jarak titik pemasangan vertikal drain digunakan formula Barron (1948), tanpa memperhatikan pengaruh gangguan tanah (*smear*), sebagai berikut:

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left(\frac{1}{1-U_h} \right) \text{ atau,} \dots \dots \dots (2.18)$$

$$U_r = 1 - e^{[-8/FT \cdot tF(n)]} \dots \dots \dots (2.19)$$

Dengan,

t = perhitungan penurunan dengan adanya PV drain

D = diameter ekuivalen akibat pengaruh PV drain

$D = 1,13 \times S$ (pola pemasangan bujur sangkar)

$D = 1,05 \times S$ (pola pemasangan segitiga)

S = Jarak pemasangan PV drain

$F(n)$ = fungsi hambatan akibat jarak antara PV drain = $\ln (D/dw) - 0,75$

Dw = diameter ekuivalen dari PVD = $(a+b)/2$, a = tebal PVD, b = lebar PVD

U_r = derajat konsolidasi tanah arah horizontal

Ch = koefisien konsolidasi arah horizontal

2.12 Prefabricated Horizontal Drains (PHD)

Material ini digunakan sebagai drainase pada arah horisontal. Bukan berupa lapisan pasir melainkan bahan yang serupa dengan material PVD tetapi dengan ukuran yang lebih besar dan dibuat dipabrik. Pelaksanaan pemasangan material PHD dilakukan secara manual dengan tenaga manusia. Pemasangan dilakukan dengan mengaitkan ujung-ujung atas material PVD dengan material PHD dan kaitan tersebut diperkuat dengan steples. Drainase horisontal dipasang pada setiap ujung atas potongan PVD secara berjajar melintang. Aliran air vertikal yang keluar dari semua titik-titik PVD harus mampu ditampung dan dialirkan semuanya secara horisontal oleh material PHD.

Bahkan saat ini untuk lebih mempercepat proses pengeluaran air pori dalam tanah, dapat dibantu dengan cara dipompa. Yaitu dengan cara memasang selang di ujung PHD, kemudian air pori dalam tanah yang telah mengalir sampai material PHD dipompa dan dialirkan keluar. Dengan berbagai upaya yang dilakukan diatas diharapkan kecepatan proses konsolidasi dapat berlangsung beberapa kali lebih cepat.

2.13 Progam Komputer PLAXIS

Progam komputer "PLAXIS Versi 7.20" merupakan suatu rangkaian progam elemen hingga yang telah dikembangkan untuk menganalisa deformasi dan stabilitas geoteknik dalam perencanaan bangunan sipil. Grafik prosedur-prosedur input data (*Soil Properties*) yang sederhana maupun menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan fasilitas output tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan.

Perhitungan progam ini seluruhnya secara otomatis dan berdasarkan pada prosedur-prosedur penulisan angka yang tepat. Konsep ini dapat dikuasai oleh pengguna baru dalam waktu yang elatif singkat setelah melakukan beberapa latihan. (R. B. J. Brinkgreve, P. A. Varmeer, *PLAXIS Finite Element Code For Soil and Rock Analyses*, A. A. Balkema/Rotterdam/Brookfielf, 1998).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bertujuan menganalisa atau menyelidiki besarnya penurunan dan lamanya waktu penurunan sebelum perbaikan tanah lalu membandingkan lamanya waktu penurunan.

3.2 Analisa Data

Di dalam penelitian ini ada 2 analisis yang digunakan. Yaitu dengan menggunakan ID Terzaghi dan program PLAXIS (*Finite Element Code For Soil And Roc Analyses*)

3.3 Teknik Pengolahan Data

Data sekunder yang terkumpul dianalisis. Analisis ini bersifat deskriptif, sehingga data-data akan diuraikan sebagai mana adanya tanpa mengadakan perubahan atau manipulasi pada variabelnya. Dari analisis data, dapat diketahui besarnya penurunan dan lamanya panurunan.

Tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pendekatan teoritis tentang permasalahan penurunan.
2. Perumusan masalah.
3. Pengumpulan data yang diperlukan.
4. Menganalisa perhitungan konsolidasi dan penurunan segera, dengan mengacu rumus terhadap tinjauan pustaka yang menjadi dasar penelitian.
5. Menganalisa perhitungan lama waktu penurunan dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drains (PVD)*.
6. Membandingkan hasil analisa sebagai berikut :
 - a. Lama waktu penurunan,sebelum dilakukan perbaikan tanah dan setelah dilakukan perbaikan dengan menggunakan sistem PVD.
 - b. Menarik kesimpulan.

3.4 Deskripsi Analisa Data



3.4.1 Persiapan

- Penentuan judul
- Pembuatan proposal

3.4.2 Study Pustaka

Klasifikasi masalah didukung landasan teori yang didapat dengan mengumpulkan literature – literature yang relevan dengan pembahasan akan memperjelas lagi diskripsi masalah.

3.4.3 Pengolahan Data

Dalam penelitian ini hanya ada data sekunder yang merupakan segala informasi yang di peroleh secara tidak langsung .

1. Perhitungan penurunan segera

Karena pada data parameter tanah yang sesuai untuk perhitungan penurunan segera ada 2 jenis tanah maka penyusun menghitung penurunan segera kedua jenis tanah ini dan yang diambil adalah yang penurunannya terbesar diantara keduanya.

$$C = \frac{1,5qc}{P_0'} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.2)}$$

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_0' + \Delta P}{P_0'} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.3)}$$

2. Perhitungan penurunan konsolidasi

$$\text{– Perhitungan H kritis} = \frac{qu}{\gamma SF} \dots\dots\dots (2.14)$$

Perhitungan H kritis bertujuan untuk menentukan tinggi timbunan maksimum.

- Perhitungan penurunan konsolidasi untuk masing-masing lapisan.

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_0'} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.11)}$$

3. Penurunan total

Perhitungan penurunan total dilakukan setelah perhitungan penurunan konsolidasi dan perhitungan penurunan segera selesai dengan cara menjumlahkan keduanya.

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.8)}$$

4. Perhitungan waktu penurunan

Setelah dilakukan perhitungan penurunan total maka dilakukan perhitungan waktu penurunan dengan ketebalan lapisan tanah 10 m.

$$t = \frac{(H)^2 T_v}{C_v} \dots\dots\dots (2.8)$$

5. Perhitungan waktu berdasarkan derajat konsolidasi tanah

Tujuan perhitungan ini adalah untuk membuat grafik hubungan derajat dan waktu konsolidasi tanah agar bisa menunjukkan perkiraan persentase konsolidasi tanah yang terjadi selama sekian tahun.

Untuk $U < 60\%$:

$$T_v = (\pi / 4) \cdot U^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

Untuk $U > 60\%$:

$$T_v = -0,933 \cdot \log (1-U) - 0,085 \dots\dots\dots (3.2)$$

6. Perencanaan perbaikan tanah dengan PVD

Merupakan inti dari penyusunan tugas akhir ini yang bertujuan untuk menghitung lama waktu penurunan tanah dengan PVD dan membandingkan dengan lama waktu penurunan sebelum dilakukan perbaikan tanah.

$$T = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left(\frac{1}{1-U_r} \right) \dots\dots\dots (3.3)$$

3.4.4 Analisa Data dan Pembahasan

Dari data yang diperoleh selanjutnya diolah menjadi data baku. Untuk mendapatkan performasi dari penurunan tanah diarea disposal Kali Semarang. Data tersebut dianalisa dengan program PLAXIS.

3.4.5 Kesimpulan

Menyimpulkan hasil penelitian dengan singkat dan jelas berdasarkan pengolahan dan analisis data yang mengacu pada pokok pembahasan.

3.4.6 Penyusun Laporan

Setelah menganalisa data yang diperoleh maka dapat dilakukan penyusunan laporan. Laporan biasanya berisi tentang hasil dari penelitian yang dilakukan adalah menganalisa perhitungan ulang penurunan tanah serta membandingkan hasil perhitungan manual dengan program PLAXIS.



BAB IV

ANALISIS PENURUNAN TANAH DISPOSAL AREA KALI SEMARANG

4.1 Kondisi Lapisan Tanah

Tanah pada lokasi pengeboran adalah jenis tanah slit berlempung, berpasir, berkerikil. Dari kedalaman 0,00 m sampai 2,10 m adalah pasir bercampur karikil, kedalaman 2,10 m sampai 3,85 m pasir bercampur tanah liat, kedalaman 3,85 m sampai 6,50 m tanah liat lembut, kedalaman 6,50 m sampai 8,50 m pasir bercampur tanah liat, 8,50 m sampai 18,50 m tanah liat lembut, 18,50 m sampai 35,50 m tanah liat, 35,50 sampai 55,50 m tanah liat berkerikil, 55,50 m sampai 56,10 m tanah liat, 56,10 m sampai 60,00 m pasir padat.

4.1.1 Parameter Tanah Dasar untuk Perencanaan.

Berdasarkan laporan penyelidikan tanah tersebut ditetapkan parameter tanah (rata-rata) untuk data perencanaan peningkatan Disposol Area Kali Semarang. Sebelum penentuan parameter desain untuk konstruksi perlu mengetahui hasil soil test yang dilakukan di lapangan dan laboratorium dari boring dan lubang uji untuk menentukan parameter tanah rata-rata.

4.1.2 Kriteria Perencanaan

Kriteria perencanaan yang harus dipenuhi pada proyek Disposol Area Kali Semarang adalah sebagai berikut :

- a. Tipe tanah adalah *normally consolidated (NC)*.
- b. Konsolidasi tanah dasar minimal $U_r = 90\%$.

4.2 Permasalahan Penurunan

4.2.1 Besar Penurunan

Untuk memperkirakan besarnya penurunan tanah yang akan terjadi pada Diposal Area Kali Semarang diasumsikan bahwa tanah dasar adalah kondisi *normally consolidated (NC)* akibat perubahan tegangan efektif ($P_c' = P_o'$).

1. Perhitungan H kritis

Kedalaman 2 m

Data dalam bentuk N (SPT)

- Tanah lapis I

$$q_c = \frac{400 N}{98,06} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \frac{400.1}{98,06} = 4,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = \frac{q_c}{20} = \frac{4,08}{20} = 0,204 \text{ kg/cm}^2$$

- Tanah lapis II

$$q_c = \frac{400 N}{98,06} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \frac{400.2}{98,06} = 8,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = \frac{q_c}{20} = \frac{8,15}{20} = 0,407 \text{ kg/cm}^2$$

- Tanah lapis III

$$q_c = \frac{400 N}{98,06} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(2.1)$$

$$= \frac{400.3}{98,06} = 12,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$C_u = \frac{q_c}{20} = \frac{12,24}{20} = 0,612 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Tanah lapis I

$$\gamma \text{ timbunan} = 1,7 \text{ gr/cm}^3 = 0,0017 \text{ kg/cm}^3$$

$$SF = 1$$

Maka didapat

$$qu \text{ tanah dasar} = 5,14 \cdot CU = 5,14 \cdot 0,204 = 1,048 \text{ kg/cm}^2$$

$$qu \text{ tanah dasar} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.14)}$$

$$H \text{ kritis} = \frac{1,048}{0,0017 \cdot 1} = 616,47 \text{ cm} = 6,16 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

$$SF = 1,5$$

$$H \text{ kritis} = \frac{1,048}{0,0017 \cdot 1,5} = 410,98 \text{ cm} = 4,10 \text{ m} \approx 4 \text{ m}$$

$$SF = 2$$

$$H \text{ kritis} = \frac{1,048}{0,0017 \cdot 2} = 308,23 \text{ cm} = 3,08 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

➤ Tanah lapis II

$$\gamma \text{ timbunan} = 1,7 \text{ gr/cm}^3 = 0,0017 \text{ kg/cm}^3$$

$$SF = 1$$

Maka didapat

$$qu \text{ tanah dasar} = 5,14 \cdot CU = 5,14 \cdot 0,407 = 2,092 \text{ kg/cm}^2$$

$$qu \text{ tanah dasar} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.14)}$$

$$H \text{ kritis} = \frac{2,092}{0,0017 \cdot 1} = 1230,5 \text{ cm} = 12,30 \text{ m} \approx 12 \text{ m}$$

$$SF = 1,5$$

$$H \text{ kritis} = \frac{2,092}{0,0017 \cdot 1,5} = 820,39 \text{ cm} = 8,20 \text{ m} \approx 8 \text{ m}$$

$$SF = 2$$

$$H \text{ kritis} = \frac{2,092}{0,0017 \cdot 2} = 615,29 \text{ cm} = 6,15 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

➤ Tanah lapis III

$$\gamma \text{ timbunan} = 1,7 \text{ gr/cm}^3 = 0,0017 \text{ kg/cm}^3$$

$$SF = 1$$

Maka didapat

$$qu \text{ tanah dasar} = 5,14 \cdot CU = 5,14 \cdot 0,612 = 3,145 \text{ kg/cm}^2$$

$$qu \text{ tanah dasar} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF} \dots \dots \dots \text{Mengacu pada rumus (2.14)}$$

$$H \text{ kritis} = \frac{3,145}{0,0017 \cdot 1} = 1850 \text{ cm} = 18,50 \text{ m} \approx 18 \text{ m}$$

$$SF = 1,5$$

$$H \text{ kritis} = \frac{3,145}{0,0017 \cdot 1,5} = 1233,33 \text{ cm} = 12,33 \text{ m} \approx 12 \text{ m}$$

$$SF = 2$$

$$H \text{ kritis} = \frac{3,145}{0,0017 \cdot 2} = 925 \text{ cm} = 9,25 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$$

Karena pada perhitungan H kritis nilai yang lebih kecil adalah tanah tipe I maka jenis tanah yang dipakai untuk perhitungan adalah tanah tipe I

2. Perhitungan Penurunan Konsolidasi

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_o} \log \frac{P_1'}{P_o'} \text{ dengan } P_1' = P_o' + \Delta p$$

$$C_c = 0,0115 \cdot W_N \dots \dots \dots \text{Mengacu pada rumus (2.4)}$$

Dimana :

S_c = penurunan konsolidasi pada lapisan tanah yang ditinjau,
lapisan ke i

H = tebal lapisan tanah

e_o = angka pori awal

C_c = index penurunan (*compression index*) untuk lempung terkonsolidasi

P_o' = *effective overburden pressure* ditengah-tengah lapisan ke i

Δp = penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau

P_1' = tegangan total awal

Gambar 4.1 Pelapisan Tanah

5 m		$W_n = 40,79$	$eo = 1,300$
	depth 5.00 m	$\gamma_{sat} = 15,81$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 43,68$	$eo = 1,345$
	depth 10.00 m	$\gamma_{sat} = 15,83$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 42,38$	$eo = 1,328$
	depth 15.00 m	$\gamma_{sat} = 15,80$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 39,04$	$eo = 1,270$
	depth 20.00 m	$\gamma_{sat} = 15,90$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 38,85$	$eo = 1,263$
	depth 25.00 m	$\gamma_{sat} = 15,93$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 35,20$	$eo = 1,203$
	depth 30.00 m	$\gamma_{sat} = 16,06$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 34,31$	$eo = 1,192$
	depth 35.00 m	$\gamma_{sat} = 16,17$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 32,19$	$eo = 1,147$
	depth 40.00 m	$\gamma_{sat} = 16,31$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 32,42$	$eo = 1,169$
	depth 45.00 m	$\gamma_{sat} = 16,42$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 31,93$	$eo = 1,127$
	depth 50.00 m	$\gamma_{sat} = 16,78$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 29,88$	$eo = 1,058$
	depth 55.00 m	$\gamma_{sat} = 17,24$	$\gamma_w = 9,8$
5 m		$W_n = 28,94$	$eo = 1,071$
	depth 60.00 m	$\gamma_{sat} = 17,13$	$\gamma_w = 9,8$

❖ Timbunan 3 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$$C_c = 0,0115 \cdot W_N$$

$$= 0,0115 \cdot 40,79$$

$$= 0,469$$

$$e_0 = 1,300$$

$$P_o' = 2,5 \times (15,81 - 9,8)$$

$$= 15,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p = \frac{17 \times 3}{3 + (2,5)} = 9,3 \text{ kN/m}^2$$

$$P_1' = P_o' + \Delta p$$

$$= 15,03 + 9,3 = 24,30 \text{ kN/m}^2$$

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_o'} \text{ dengan } P_1' = P_o' + \Delta p$$

$$= 0,469 \frac{5}{1 + 1,300} \log \frac{24,30}{15,03}$$

$$= 0,2129 \text{ m}$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.1

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 3 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	H (m)	P_o' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_c (m)
1	5	5	15.03	9.3	0.2129
2	10	5	45.23	4.9	0.0475
3	15	5	75.00	3.3	0.0195
4	20	5	106.75	2.5	0.0099
5	25	5	137.93	2.0	0.0062
6	30	5	172.15	1.7	0.0039
7	35	5	207.03	1.4	0.0027
8	40	5	244.13	1.3	0.0019
9	45	5	281.35	1.1	0.0015
10	50	5	331.55	1.0	0.0011
11	55	5	390.60	0.9	0.0009
12	60	5	421.48	0.8	0.0007
$\Sigma S_c = 0.3086$					

❖ Timbunan 4 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$$\begin{aligned} C_c &= 0,0115 \cdot W_N \\ &= 0,0115 \cdot 40,79 \\ &= 0,469 \end{aligned}$$

$$e_0 = 1,300$$

$$\begin{aligned} P_o' &= 2,5 \times (15,81 - 9,8) \\ &= 15,03 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta p = \frac{17 \times 4}{4 + (2,5)} = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} P_1' &= P_o' + \Delta p \\ &= 15,03 + 10,5 = 25,49 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_c &= C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_o'} \text{ dengan } P_1' = P_o' + \Delta p \\ &= 0,469 \frac{5}{1 + 1,300} \log \frac{25,49}{15,03} \\ &= 0,234 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.2

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 4 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	H (m)	P_o' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_c (m)
1	5	5	15.03	10.5	0.2340
2	10	5	45.23	5.9	0.0572
3	15	5	75.00	4.1	0.0243
4	20	5	106.75	3.2	0.0125
5	25	5	137.93	2.6	0.0079
6	30	5	172.15	2.2	0.0050
7	35	5	207.03	1.9	0.0035
8	40	5	244.13	1.6	0.0025
9	45	5	281.35	1.5	0.0019
10	50	5	331.55	1.3	0.0015
11	55	5	390.60	1.2	0.0011
12	60	5	421.48	1.1	0.0009
					$\Sigma S_c = 0,3524$

❖ Timbunan 5 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$$\begin{aligned} C_c &= 0,00115 \cdot W_N \\ &= 0,0115 \cdot 40,79 \\ &= 0,469 \end{aligned}$$

$$e_0 = 1,300$$

$$\begin{aligned} P_o' &= 2,5 \times (15,81 - 9,8) \\ &= 15,03 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\Delta p = \frac{17 \times 5}{5 + (2,5)} = 11,3 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} P_1' &= P_o' + \Delta p \\ &= 15,03 + 11,3 = 26,36 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_c &= C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_o'} \text{ dengan } P_1' = P_o' + \Delta p \\ &= 0,469 \frac{5}{1 + 1,300} \log \frac{26,36}{15,03} \\ &= 0,2489 \text{ m} \end{aligned}$$

Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.3

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 5 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	H (m)	P_o' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_c (m)
1	5	5	15.03	11.3	0.2489
2	10	5	45.23	6.8	0.0652
3	15	5	75.00	4.9	0.0285
4	20	5	106.75	3.8	0.0149
5	25	5	137.93	3.1	0.0095
6	30	5	172.15	2.6	0.0060
7	35	5	207.03	2.3	0.0043
8	40	5	244.13	2.0	0.0031
9	45	5	281.35	1.8	0.0024
10	50	5	331.55	1.6	0.0018
11	55	5	390.60	1.5	0.0014
12	60	5	421.48	1.4	0.0011
					$\Sigma S_c = 0,3871$

❖ Timbunan 6 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$$C_c = 0,00115 \cdot W_N$$

$$= 0,0115 \cdot 40,79$$

$$= 0,469$$

$$e_0 = 1,300$$

$$P_o' = 2,5 \times (15,81 - 9,8)$$

$$= 15,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta p = \frac{17 \times 6}{6 + (2,5)} = 12 \text{ kN/m}^2$$

$$P_1' = P_o' + \Delta p$$

$$= 15,03 + 12 = 27,03 \text{ kN/m}^2$$

$$S_c = C_c \frac{H}{1 + e_0} \log \frac{P_1'}{P_o'} \text{ dengan } P_1' = P_o' + \Delta p$$

$$= 0,469 \frac{5}{1 + 1,300} \log \frac{27,03}{15,03}$$

$$= 0,26 \text{ m}$$

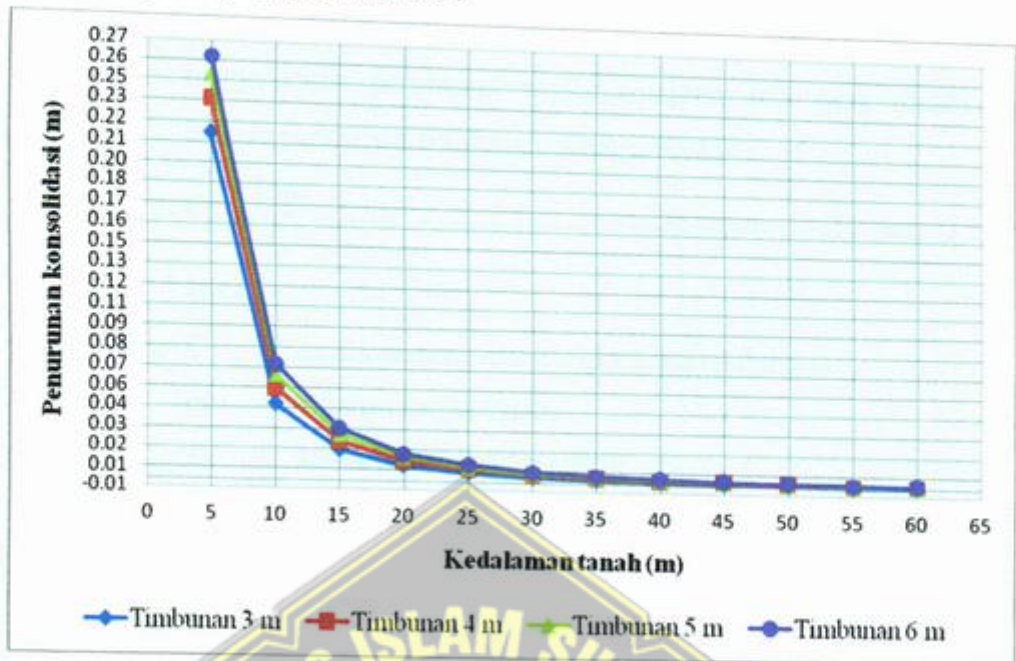
Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi timbunan 6 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	H (m)	P_o' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_c (m)
1	5	5	15.03	12	0.260
2	10	5	45.23	7.6	0.072
3	15	5	75.00	5.5	0.032
4	20	5	106.75	4.3	0.017
5	25	5	137.93	3.6	0.011
6	30	5	172.15	3.0	0.007
7	35	5	207.03	2.6	0.005
8	40	5	244.13	2.3	0.004
9	45	5	281.35	2.1	0.003
10	50	5	331.55	1.9	0.002
11	55	5	390.60	1.7	0.002
12	60	5	421.48	1.6	0.001
					$\sum S_c = 0,416$

Hasil perhitungan penurunan konsolidasi pada timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m dapat ditunjukkan pada grafik berikut :



Gambar 4.2 Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan konsolidasi pada timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m

Dilihat dari grafik (4.2) dapat dikatakan bahwa untuk timbunan 3 m, 4 m, 5 m dan 6 m grafik penurunan yang terjadi hampir sama.

- Pada timbunan 3 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan konsolidasi (S_c) = 0,3086 m
- Pada timbunan 4 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan konsolidasi (S_c) = 0,3524 m
- Pada timbunan 5 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan konsolidasi (S_c) = 0,3871 m
- Pada timbunan 6 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan konsolidasi (S_c) = 0,416 m

Jadi untuk keempat penurunan konsolidasi, grafiknya memang hampir sama. Perbedaan mendasar terlihat pada nilai penurunan setiap lapisan. Bahwa semakin besar timbunan maka penurunan yang terjadi juga akan semakin besar.

3. Perhitungan Penurunan Segera

Penurunan segera tanah Diposal Area Kali Semarang dihitung dari hasil uji kerucut statis. De Beer dan Marten (1957) mengusulkan persamaan angka kompresi (C) yang dikaitkan dengan persamaan Buishman, sebagai berikut :

$$C = \frac{1,5qc}{P_o'} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.2)}$$

Dimana :

C = angka pemampatan (angka kompresibilitas)

qc = tahanan kerucut statis

P_o' = tekanan *overburden* efektif

Satuan qc dan P_o' harus sama. Nilai C ini, kemudian disubstitusikan kedalam persamaan Terzaghi untuk penurunan pada lapisan tanah yang ditinjau, yaitu :

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta p}{P_o'} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.3)}$$

S_i = penurunan segera (m) dari lapisan tanah setebal H (m)

P_o' = tekanan *overburden* efektif awal di tengah-tengah lapisan ke i, yaitu tegangan efektif sebelum beban bekerja

Δp = tambahan tegangan vertikal di tengah-tengah lapisan oleh tegangan akibat beban pondasi neto

❖ Timbunan 3 m

Contoh perhitungan :

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$qc = 408 \text{ kN/m}^2$

$p_0' = 15.03 \text{ kN/m}^2$

$\Delta H = 5 \text{ m}$

$$\Delta p = \frac{17 \times 3}{3 + (2,5)} = 9,3 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \frac{1,5qc}{p_0'}$$

$$= \frac{1,5 \times 408}{15,03} = 40,7$$

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'}$$

$$= \frac{5}{40,7} \ln \frac{15,03 + 9,3}{15,03}$$

$$= 0,059 \text{ m}$$

Tabel 4.5

Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 3 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	ΔH (m)	P_0' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_i (m)
1	5	5	15.03	9.3	0.0590
2	10	5	45.23	4.9	0.0094
3	15	5	75.00	3.3	0.0066
4	20	5	106.75	2.5	0.0033
5	25	5	137.93	2.0	0.0016
6	30	5	172.15	1.7	0.0010
7	35	5	207.03	1.4	0.0006
8	40	5	244.13	1.3	0.0005
9	45	5	281.35	1.1	0.0003
10	50	5	331.55	1.0	0.0002
11	55	5	390.60	0.9	0.0002
12	60	5	421.48	0.8	0.0001
					$\Sigma S_i = 0,0829$

❖ Timbunan 4 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$$qc = 408 \text{ kN/m}^2$$

$$p_0' = 15,03 \text{ kN/m}^2$$

$$\Delta H = 5 \text{ m}$$

$$\Delta p = \frac{17 \times 4}{4 + (2,5)} = 10,5 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \frac{1,5qc}{p_0'}$$

$$= \frac{1,5 \times 408}{15,03} = 40,7$$

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_0' + \Delta p}{p_0'}$$

$$= \frac{5}{40,7} \ln \frac{15,03 + 10,5}{15,03}$$

$$= 0,0649 \text{ m}$$

Tabel 4.6

Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 4 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	ΔH (m)	P_0' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_i (m)
1	5	5	15.03	10.5	0.0649
2	10	5	45.23	5.9	0.0114
3	15	5	75.00	4.1	0.0082
4	20	5	106.75	3.2	0.0042
5	25	5	137.93	2.6	0.0021
6	30	5	172.15	2.2	0.0013
7	35	5	207.03	1.9	0.0008
8	40	5	244.13	1.6	0.0006
9	45	5	281.35	1.5	0.0004
10	50	5	331.55	1.3	0.0003
11	55	5	390.60	1.2	0.0002
12	60	5	421.48	1.1	0.0002
					$\sum S_i = 0,0945$

❖ Timbunan 5 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$qc = 408$ kN/m²

$p_o' = 15,03$ kN/m²

$\Delta H = 5$ m

$$\Delta p = \frac{17 \times 5}{5 + (2,5)} = 11,3 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \frac{1,5qc}{p_o'}$$

$$= \frac{1,5 \times 408}{15,03} = 40,7$$

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_o' + \Delta p}{p_o'}$$

$$= \frac{5}{40,7} \ln \frac{15,03 + 11,3}{15,03}$$

$$= 0,069 \text{ m}$$

Tabel 4.7

Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 5 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	ΔH (m)	P_o' (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_i (m)
1	5	5	15.03	11.3	0.0690
2	10	5	45.23	6.8	0.0129
3	15	5	75.00	4.9	0.0096
4	20	5	106.75	3.8	0.0051
5	25	5	137.93	3.1	0.0025
6	30	5	172.15	2.6	0.0015
7	35	5	207.03	2.3	0.0010
8	40	5	244.13	2.0	0.0008
9	45	5	281.35	1.8	0.0004
10	50	5	331.55	1.6	0.0004
11	55	5	390.60	1.5	0.0003
12	60	5	421.48	1.4	0.0002
					$\sum S_i = 0,1037$

❖ Timbunan 6 m

Contoh perhitungan:

Lebar timbunan = 20 m

γ timbunan = 17 kN/m³

$qc = 408$ kN/m²

$p_{o'} = 15,03$ kN/m²

$\Delta H = 5$ m

$$\Delta p = \frac{17 \times 6}{6 + (2,5)} = 12 \text{ kN/m}^2$$

$$C = \frac{1,5qc}{p_{o'}} = \frac{1,5 \times 408}{15,03} = 40,7$$

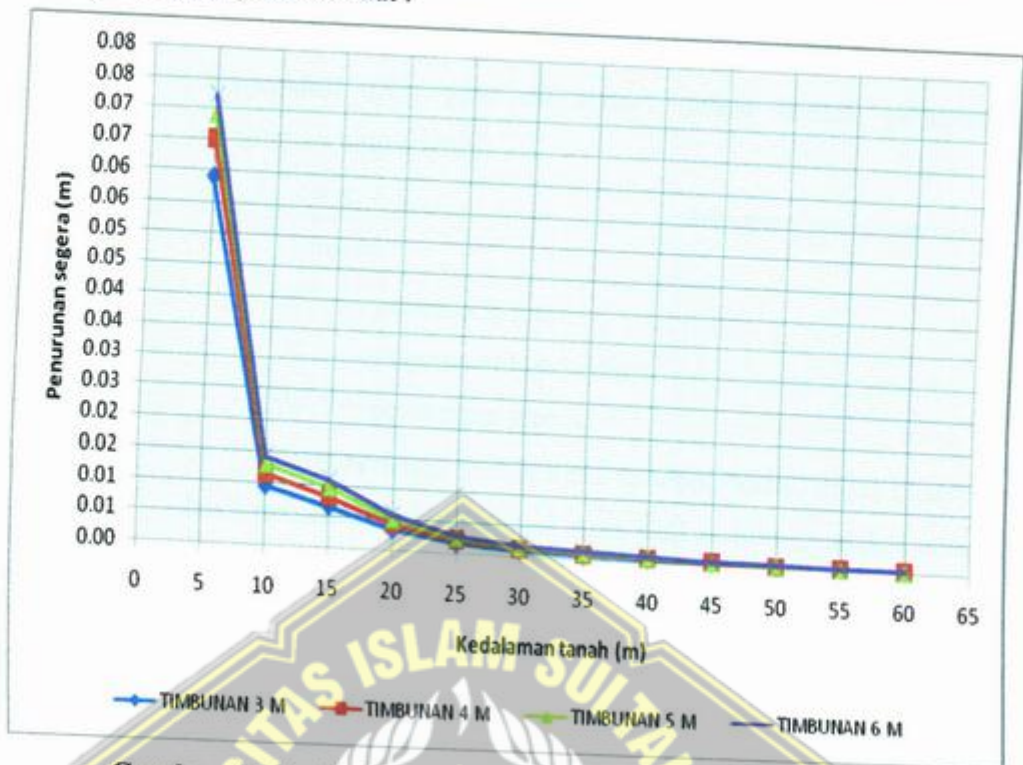
$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{p_{o'} + \Delta p}{p_{o'}} = \frac{5}{40,7} \ln \frac{15,03 + 12}{15,03} = 0,0721 \text{ m}$$

Tabel 4.8

Hasil perhitungan penurunan segera timbunan 6 m

Nomer lapisan	Kedalaman (m)	ΔH (m)	$P_{o'}$ (kN/m ²)	ΔP (kN/m ²)	S_i (m)
1	5	5	15.03	12	0.0721
2	10	5	45.23	7.6	0.0143
3	15	5	75.00	5.5	0.0109
4	20	5	106.75	4.3	0.0058
5	25	5	137.93	3.6	0.0029
6	30	5	172.15	3.0	0.0018
7	35	5	207.03	2.6	0.0012
8	40	5	244.13	2.3	0.0009
9	45	5	281.35	2.1	0.0005
10	50	5	331.55	1.9	0.0004
11	55	5	390.60	1.7	0.0003
12	60	5	421.48	1.6	0.0002
					$\Sigma S_i = 0,1112$

Hasil perhitungan penurunan segera pada timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m dapat ditunjukkan pada grafik berikut :



Gambar 4.3 Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan segera pada timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m

Dilihat dari grafik (4.3) dapat dikatakan bahwa untuk timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m grafik penurunan yang terjadi hampir sama.

- Pada timbunan 3 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan segera (S_i) = 0,0829 m
- Pada timbunan 4 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan segera (S_i) = 0,0945 m
- Pada timbunan 5 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan segera (S_i) = 0,1037 m
- Pada timbunan 6 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan segera (S_i) = 0,1112 m

Jadi untuk keempat penurunan segera, grafiknya memang hampir sama. Perbedaan mendasar terlihat pada nilai penurunan setiap lapisan. Bahwa semakin besar timbunan maka penurunan yang terjadi juga semakin besar,

4. Penurunan Total

Penurunan total (S) dari sebuah tanah berbutir halus yang jenuh adalah jumlah dari penurunan segera (S_i) dan penurunan konsolidasi (S_c). Bila dinyatakan dalam bentuk persamaan, penurunan total adalah :

$$S = S_c + S_i \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.5)}$$

Dimana :

S = penurunan total

S_c = penurunan konsolidasi

S_i = penurunan segera

Dari berbagai perhitungan tersebut diatas, dapat diperoleh hasil penurunan total Disposol Area Kali Semarang adalah sebagai berikut :

❖ Penurunan total untuk timbunan 3 m

Tabel 4.9
Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 3 m

Kedalaman tanah (m)	Penurunan Konsolidasi (S_i) (m)	Penurunan Segera (S_c) (m)	Penurunan Total (m)
5	0.2129	0.0590	0.2719
10	0.0475	0.0094	0.0569
15	0.0195	0.0066	0.0261
20	0.0099	0.0033	0.0132
25	0.0062	0.0016	0.0078
30	0.0039	0.0010	0.0049
35	0.0027	0.0006	0.0033
40	0.0019	0.0005	0.0024
45	0.0015	0.0003	0.0018
50	0.0011	0.0002	0.0013
55	0.0009	0.0002	0.0011
60	0.0007	0.0001	0.0008
	$\sum S_i = 0,3087$	$\sum S_c = 0,0828$	$\sum S = 0,3907$

- ❖ Penurunan total untuk timbunan 4 m

Tabel 4.10

Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 4 m

Kedalaman tanah (m)	Penurunan Konsolidasi (S_i) (m)	Penurunan Segera (S_c) (m)	Penurunan Total (m)
5	0.2340	0.0649	0.2989
10	0.0572	0.0114	0.0686
15	0.0243	0.0082	0.0325
20	0.0125	0.0042	0.0167
25	0.0079	0.0021	0.0100
30	0.0050	0.0013	0.0063
35	0.0035	0.0008	0.0043
40	0.0025	0.0006	0.0031
45	0.0019	0.0004	0.0023
50	0.0015	0.0003	0.0018
55	0.0011	0.0002	0.0013
60	0.0009	0.0002	0.0011
	$\sum S_i = 0,3523$	$\sum S_c = 0,0946$	$\sum S = 0,4458$

- ❖ Penurunan total untuk timbunan 5 m

Tabel 4.11

Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 5 m

Kedalaman tanah (m)	Penurunan Konsolidasi (S_i) (m)	Penurunan Segera (S_c) (m)	Penurunan Total (m)
5	0.2489	0.0690	0.3179
10	0.0652	0.0129	0.0781
15	0.0285	0.0096	0.0381
20	0.0149	0.0051	0.0200
25	0.0095	0.0025	0.0120
30	0.0060	0.0015	0.0075
35	0.0043	0.0010	0.0053
40	0.0031	0.0008	0.0039
45	0.0024	0.0004	0.0028
50	0.0018	0.0004	0.0022
55	0.0014	0.0003	0.0017
60	0.0011	0.0002	0.0013
	$\sum S_i = 0,3871$	$\sum S_c = 0,1037$	$\sum S = 0,4895$

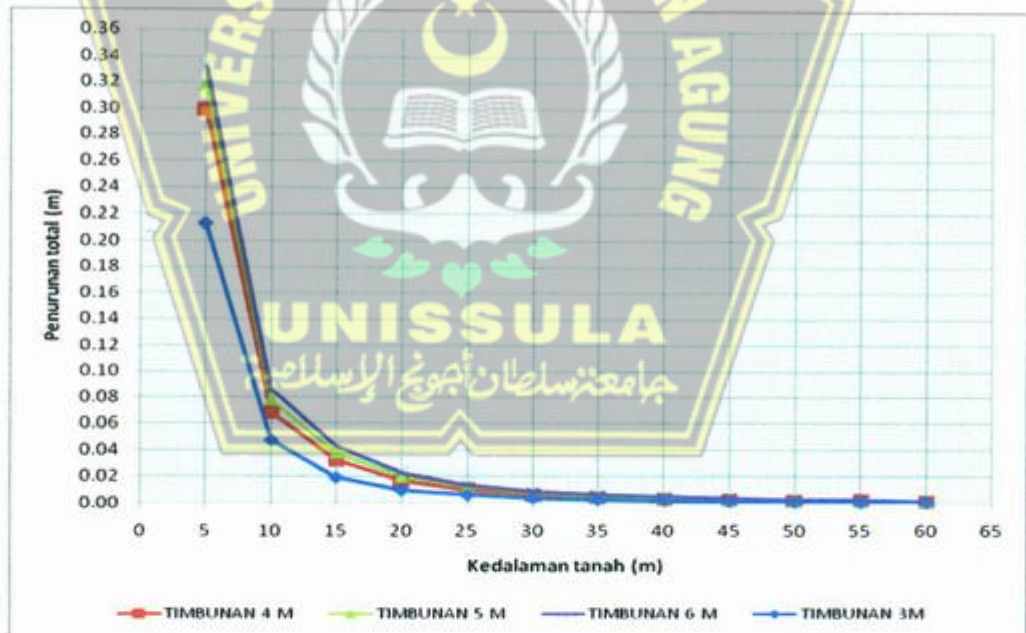
❖ Penurunan total untuk timbunan 6 m

Tabel 4.12

Hasil perhitungan penurunan total untuk timbunan 6 m

Kedalaman tanah (m)	Penurunan Konsolidasi (S_i) (m)	Penurunan Segera (S_c) (m)	Penurunan Total (m)
5	0.2600	0.0721	0.3321
10	0.0720	0.0143	0.0863
15	0.0320	0.0109	0.0429
20	0.0170	0.0058	0.0228
25	0.0110	0.0029	0.0139
30	0.0070	0.0018	0.0088
35	0.0050	0.0012	0.0062
40	0.0040	0.0009	0.0049
45	0.0030	0.0005	0.0035
50	0.0020	0.0004	0.0024
55	0.0020	0.0003	0.0023
60	0.0010	0.0002	0.0012
$\sum S_i = 0,4160$		$\sum S_c = 0,1112$	$\sum S = 0,5261$

Hasil perhitungan penurunan total pada timbunan 3 m, 4 m, 5 m, dan 6 m dapat ditunjukkan pada grafik berikut :



Gambar 4.4 Grafik hubungan kedalaman tanah dengan penurunan total pada timbunan 3 m, 4 m, 5m, dan 6 m

Dilihat dari grafik (4.4) dapat dikatakan bahwa untuk timbunan 3 m, 4 m, 5m, dan 6 m grafik penurunan yang terjadi hampir sama.

- Pada timbunan 3 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan total (S) = 0,3907 m
- Pada timbunan 4 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan total (S) = 0,4458 m
- Pada timbunan 5 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan total (S) = 0,4895 m
- Pada timbunan 6 m dengan kedalaman tanah 60 m besar penurunan total (S) = 0,5261 m

Jadi untuk keempat penurunan total, grafiknya memang hampir sama. Perbedaan mendasar terlihat pada nilai penurunan setiap lapisan. Bahwa semakin besar timbunan maka penurunan yang terjadi juga akan semakin besar.

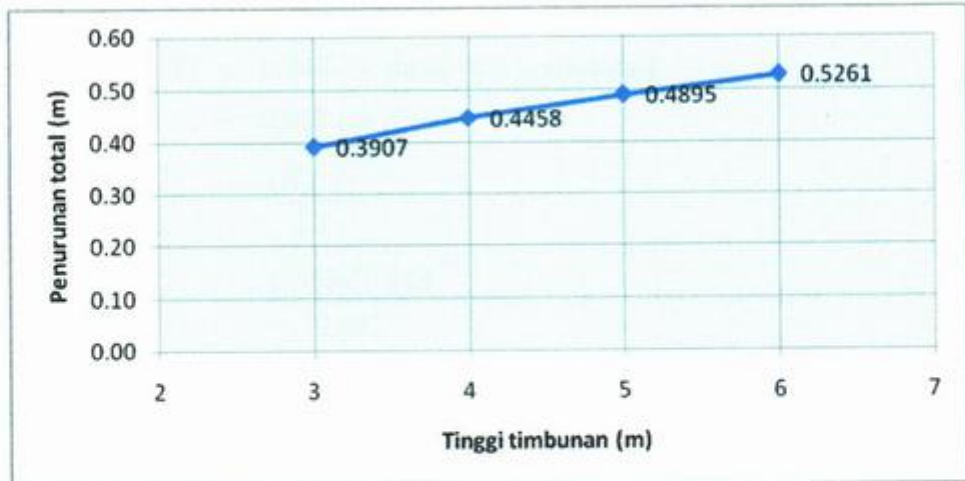
Dari berbagai perhitungan diatas, dapat diperoleh hasil penurunan total Disposasi Area Kali Semarang adalah sebagaimana ditunjukkan dalam tabel berikut

Tabel 4.13
Penurunan Total

Tinggi timbunan (m)	Penurunan tanah (m)
3	0,3907
4	0,4458
5	0,4895
6	0,5261

Penurunan total yang ditunjukkan pada tabel diatas dapat dilihat bahwa semakin tinggi timbunan maka penurunan tanah yang terjadi juga semakin besar.

Hasil perhitungan dapat ditunjukkan dengan grafik berikut :



Gambar 4.5 Grafik hubungan tinggi timbunan dengan penurunan tanah total

Hasil perhitungan yang ditunjukkan pada gambar (4.5) dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi timbunan maka semakin besar pula penurunan tanahnya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi timbunan maka penambahan tegangan vertikal titik yang ditinjau (Δp) semakin besar dan ini sangat mempengaruhi penurunan konsolidasi.

4.2.2 Waktu Penurunan

Untuk memperkirakan waktu penurunan tanah yang akan terjadi pada Disposal Area Kali Semarang digunakan formula sebagai berikut ini :

$$t = \frac{(H)^2 T_v}{C_v} \dots \dots \dots \text{Mengacu pada rumus (2.8)}$$

Dimana :

- t = waktu penurunan konsolidasi pada lapisan tanah dasar
- H = tebal lapisan tanah lunak
- C_v = koefisien konsolidasi tanah
- T_v = faktor waktu untuk konsolidasi vertikal

Dengan memasukan harga :

$$H = 35 \text{ meter} = 3500 \text{ cm}$$

$$T_v = 0,848 \Rightarrow \text{untuk } 90\% \text{ konsolidasi}$$

$$C_v = 0,002 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$t = \frac{(H)^2 T_v}{C_v}$$
$$= \frac{(3500)^2 0,848}{0,002}$$

$$= 5,19 \cdot 10^9 \text{ s}$$

$$t = 166,9 \text{ tahun}$$

4.2.3 Perhitungan waktu penurunan berdasarkan derajat konsolidasi tanah

Untuk $U < 60\% \Rightarrow T_v = (\pi/4) \cdot U^2$ Mengacu pada rumus (3.1)

➤ $U = 10\%$

$$T_v = (\pi/4) \cdot U^2$$
$$= (\pi/4) \cdot (0,1)^2$$
$$= 0,0079$$

$$t = \frac{(H)^2 T_v}{C_v}$$
$$= \frac{(3500)^2 \cdot 0,0079}{0,002}$$

$$= 48387500 \text{ s}$$

$$= 1,5 \text{ tahun}$$

➤ $U = 20\%$

$$t = 6,2 \text{ tahun}$$

➤ $U = 30\%$

$$t = 13,9 \text{ tahun}$$

➤ $U = 40\%$

$$t = 24,7 \text{ tahun}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= 50\% \\ t &= 38,6 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= 60\% \\ t &= 55,6 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Untuk $U > 60\% \Rightarrow T_v = -0,933 \cdot \log(1-U) - 0,085$ Mengacu pada rumus (3.2)

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= 70\% \\ T_v &= -0,933 \cdot \log(1-U) - 0,085 \\ &= -0,933 \cdot \log(1-0,7) - 0,085 \\ &= 0,40285 \end{aligned}$$

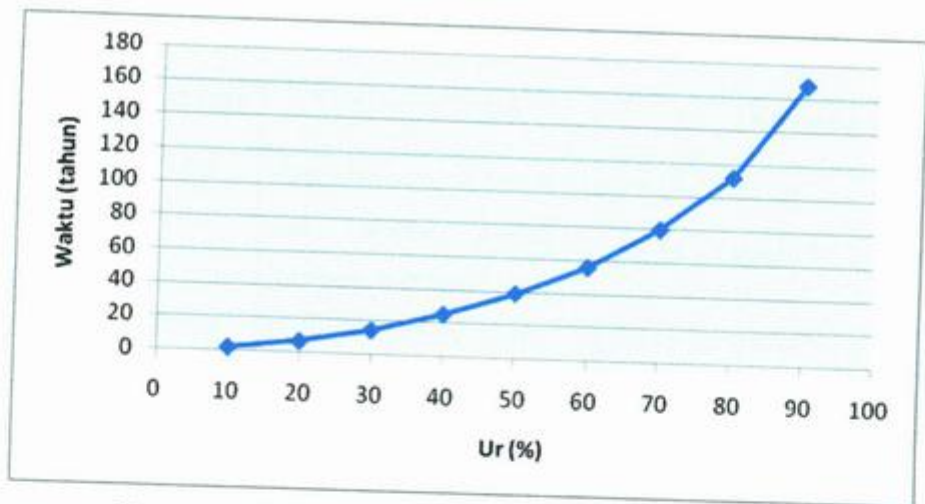
$$\begin{aligned} t &= \frac{(H)^2 \cdot T_v}{C_v} \\ &= \frac{(3500)^2 \cdot 0,40285}{0,002} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 2467456250 \text{ s} \\ &= 79,3 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= 80\% \\ t &= 111,68 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= 90\% \\ t &= 166,9 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa dan perhitungan besar penurunan dan lama waktu penurunan tanah pada Disposals Area Kali Semarang tersebut diatas diketahui bahwa timbunan mengalami penurunan sebesar $\pm 0,3907 \text{ m} - 0,5261 \text{ m}$ yang berlangsung selama $\pm 166,9$ tahun. Pada umur 2 tahun sejak timbunan dilaksanakan diperkirakan penurunan tanah dasar baru mencapai 20% sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut ini :



Gambar 4.6 Grafik hubungan derajat dan waktu konsolidasi tanah

4.3 Analisis Perhitungan dengan Program PLAXIS V 7.2

Test Penurunan Dengan Menggunakan Program *PLAXIS*
 Pengertian *PLAXIS (Finite Element Code For Soil And Rock Analyses)* merupakan suatu rangkuman program elemen terbatas yang secara khusus digunakan untuk menganalisa dari *deformasi* (penurunan) dan stabilitas di dalam proyek rancang bangun *geoteknik* dalam perencanaan bangunan sipil. Grafik prosedur-prosedur *input data (Soil Properties)* yang sederhana mampu menciptakan model-model elemen hingga yang kompleks dan menyediakan fasilitas *output* tampilan secara detail berupa hasil-hasil perhitungan.

Tabel 4.14. Data Tanah

NO	Kedalaman (m)	Komposisi Tanah	Keterangan
1	0.00 – 5.00	Pasir bercampur tanah liat, warna coklat kehitam-hitaman	$\gamma_{dry} = 11,23 \text{ KN/m}^3$ $c = 32 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 15,81 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 17^0$
2	5.00 – 10.00	Pasir bercampur tanah liat lembut, bercampur dengan kulit kerang	$\gamma_{dry} = 11,02 \text{ KN/m}^3$ $c = 6,4 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 15,83 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 9^0$
3	10.00 – 15.00	Tanah liat lembut, bercampur dengan kulit kerang	$\gamma_{dry} = 11,09 \text{ KN/m}^3$ $c = 1,9 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 15,8 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 6^0$
4	15.00 – 20.00	Tanah liat, berwarna kelabu, bercampur dengan kulit kerang	$\gamma_{dry} = 11,44 \text{ KN/m}^3$ $c = 2,1 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 15,9 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 12^0$
5	20.00 – 25.00	Tanah liat, berwarna kelabu, bercampur dengan kulit kerang	$\gamma_{dry} = 11,47 \text{ KN/m}^3$ $c = 74,5 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 15,93 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 13^0$
6	25.00 – 30.00	Tanah liat berpasir, bercampur dengan kulit kerang	$\gamma_{dry} = 11,88 \text{ KN/m}^3$ $c = 22,1 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 16,06 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 11^0$
7	30.00 – 35.00	Tanah liat yang sangat kaku	$\gamma_{dry} = 12,04 \text{ KN/m}^3$ $c = 88,8 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 16,17 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 12^0$
8	35.00 – 40.00	Tanah liat yang sangat kaku	$\gamma_{dry} = 12,34 \text{ KN/m}^3$ $c = 90,5 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 16,31 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 34^0$
9	40.00 – 45.00	Tanah liat yang sangat kaku	$\gamma_{dry} = 12,4 \text{ KN/m}^3$ $c = 2,4 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 16,42 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 12^0$
10	45.00 – 50.00	Pasir bercampur tanah liat padat	$\gamma_{dry} = 12,72 \text{ KN/m}^3$ $c = 2,5 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 16,78 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 24^0$

11	50.00 – 55.00	Tanah liat padat bercampur dengan pasir	$\gamma_{dry} = 13,28 \text{ KN/m}^3$ $c = 1,2 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 17,24 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 31^0$
12	55.00 – 60.00	Tanah liat keras berwarna abu-abu bercampur dengan pasir	$\gamma_{dry} = 13,28 \text{ KN/m}^3$ $c = 7,7 \text{ KN/m}^2$ $\gamma_{wet} = 17,13 \text{ KN/m}^3$ $\Phi = 33^0$

Perhitungan H kritis untuk timbunan

$$\gamma \text{ timbunan} = 1,7 \text{ gr/cm}^3 = 0,0017 \text{ kg/cm}^3$$

$$qu \text{ tanah dasar} = 5,14 \cdot CU = 5,14 \cdot 0,204 = 1,048 \text{ kg/cm}$$

$$qu \text{ tanah dasar} = \frac{qu}{\gamma \cdot SF} \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (2.14)}$$

$$SF = 2$$

$$H \text{ kritis} = \frac{1,048}{0,0017 \cdot 2} = 308,23 \text{ m} = 3,08 \text{ m} \approx 3 \text{ m}$$

$$3 \text{ m} \rightarrow C_0 = 0,204 \text{ kg/cm}^2 = 20,4 \text{ KN/m}^2$$

$$\begin{aligned} C_1 &= C_0 + 0,22 \times \Delta\sigma_1 \\ &= 20,4 + [0,22 \times (3 \times 17)] \\ &= 20,4 + 11,22 \\ &= 31,62 \text{ KN/m}^2 = 0,3162 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$H \text{ kritis} = \frac{1,625}{0,0017 \cdot 2} = 478,02 \text{ m} = 4,78 \text{ m} \approx 5 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_2 &= C_1 + 0,22 \times \Delta\sigma_2 \\ &= 31,62 + [0,22 \times (2 \times 17)] \\ &= 31,62 + 7,48 \\ &= 39,1 \text{ KN/m}^2 = 0,391 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$H \text{ kritis} = \frac{2,009}{0,0017 \cdot 2} = 591,1 \text{ m} = 5,91 \text{ m} \approx 6 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_3 &= C_2 + 0,22 \times \Delta\sigma_3 \\ &= 39,62 + [0,22 \times (1 \times 17)] \\ &= 39,62 + 3,74 \\ &= 43,36 \text{ KN/m}^2 = 0,4336 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Tabel 4.15 Material Propertis Data Tanah

Parameter	Nama	Pasir Depth -5 m Mohr-Coul	Pasir Depth -10 m Mohr-Coul	Lempung Depth -15 m Mohr-Coul	Lempung Depth -20 m Mohr-Coul	Lempung Depth -25 m Mohr-Coul	Lempung Depth -30 m Mohr-Coul	Unit
Material Model	Model							-
Material Type	Type	Drained	Drained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	-
Dry Soil Weight	γ_{dry}	11,23	11,02	11,09	11,44	11,47	11,88	kN/m ³
Wet Soil Weight	γ_{wet}	15,81	15,83	15,8	15,9	15,93	16,06	kN/m ³
Horizontal Permeability	k_x	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	m/day
Vertical Permeability	k_y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	m/day
Young's Modulus	E_{ref}	3000	3000	3800	3800	3800	3800	kN/m ²
Poisson's Ratio	ν	0.3	0.3	0.35	0.35	0.35	0.35	-
Cohesion	C_{ref}	32	6,4	1,9	2,1	74,5	22,1	kN/m ²
Friction Angel	ϕ	17	9	6	12	13	11	°
Dilantacy Angel	ψ	0	0	0	0	0	0	°
Interface Reduction Factor	R_{inter}	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	-

Parameter	Nama	Lempung Depth -35 m	Lempung Depth -40 m	Lempung Depth -45 m	Pasir Depth -50 m	Lempung Depth -55 m	Lempung Depth -60 m	Timbunan Tanah	Unit
Material Model	Model	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	Mohr-Coul	-
Material Type	Type	UnDrained	UnDrained	UnDrained	Drained	UnDrained	UnDrained	UnDrained	-
Dry Soil Weight	γ_{dry}	12,04	12,34	12,4	12,72	13,28	13,28	13,46	kN/m ³
Wet Soil Weight	γ_{wet}	16,17	16,31	16,42	16,78	17,24	17,13	17,23	kN/m ³
Horizontal Permeability	k_x	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1	m/day
Vertical Permeability	k_y	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	1	m/day
Young's Modulus	E_{ref}	3800	3800	3800	3000	3800	3800	40000	kN/m ²
Poisson's Ratio	ν	0.35	0.35	0.35	0.3	0.35	0.35	0.35	-
Cohession	C_{ref}	88,8	90,5	2,4	2,5	1,2	7,7	1,9	kN/m ²
Friction Angel	φ	12	34	12	24	31	33	6	°
Dilantancy Angel	ψ	0	0	0	0	0	0	0	°
Interface Reduction Factor	R_{inter}	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	-

4.3.1 Pemodelan Instalasi Timbunan

Setelah mengetahui hasil investigasi geoteknik tanah, langkah selanjutnya adalah melakukan asumsi pemodelan instalasi timbunan yang ada dilapangan kedalam bentuk input program PLAXIS.

Pada pemodelan di PLAXIS sendiri dibuat simetri atau hanya setengahnya saja. Gambaran umum timbunan tanah adalah 3,5,6 m.

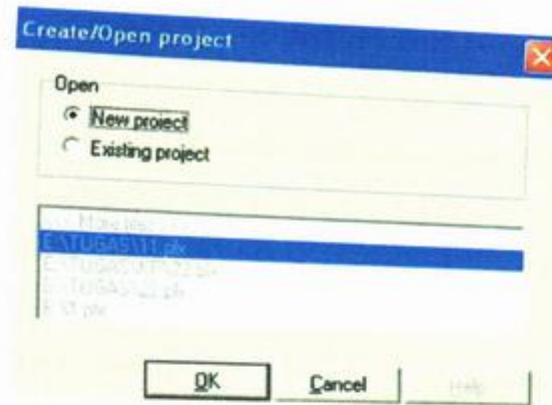
Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar berikut :



4.3.2 Prosedur Perhitungan dengan Metode PLAXIS

Adapun prosedur perhitungan dengan menggunakan program PLAXIS adalah sebagai berikut :

- Pilih program – Plaxis 7.2 – Plaxis input.
- Akan muncul kotak dialog *Create/Open project*, pilih *New project* dan klik tombol OK.



Gambar 4.8 Kotak dialog *Create/Open Project*

c. Setelah itu akan muncul jendela baru *General settings*. Isilah data-data berikut :

- *Project*
 - Model = plane strain
 - Elements = 6 node
- *Dimensoins*
 - Length = m
 - Force = kN
 - Time = day
 - Left = 0 m
 - Right = 60 m
 - Bottom = -80 m
 - Top = 10 m
 - Spacing = 0,1 m
 - Intervals = 1

d. Untuk menyetujuinya, klik tombol OK.

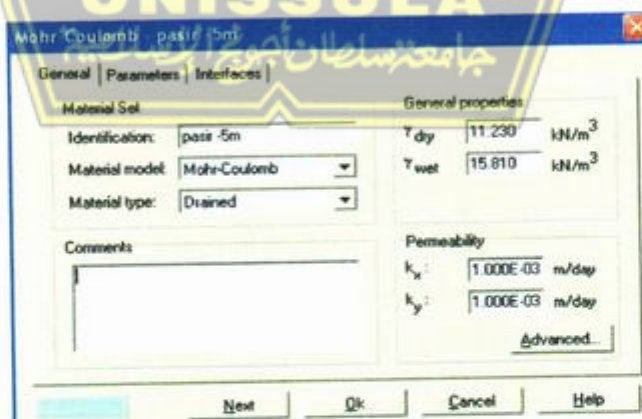
e.  Pilih tombol geometri line dari toolbar (secara default, kursor sudah terbentuk geometri line). Klik kursor pada koordinat (0.0,0.0), geser dan klik ke (0.0,-60) kemudian klik pada (50,-60), geser lagi dan klik pada (50,0.0), terakhir pada (0.0,0.0). Setelah itu membuat model geometri untuk

timbunan. Klik kursor pada koordinat (0,0,0), geser keatas dan klik (0,0,6.0) kemudian geser ke kanan klik pada (3.0,6.0), geser lagi dan klik pada (12,5.0), setelah itu klik pada (0.0,0.5) geser ke kanan klik pada (12,5.0) kemudian geser ke kanan bawah klik pada (24,3.0) setelah itu klik pada (0.0,3.0) geser ke kanan klik pada (24,3.0) kemudian geser ke kanan bawah klik pada (36,0.0) Untuk keluar dari penggambaran, klik kanan.

- f.  Klik tombol *material sets* pada *toolbar*. Pada jendela baru *material sets* bagian *sets type*, pilih *soil & interfaces* kemudian pilih tombol *New*, isikan pada tab-tab :

1. Untuk material tanah pasir :

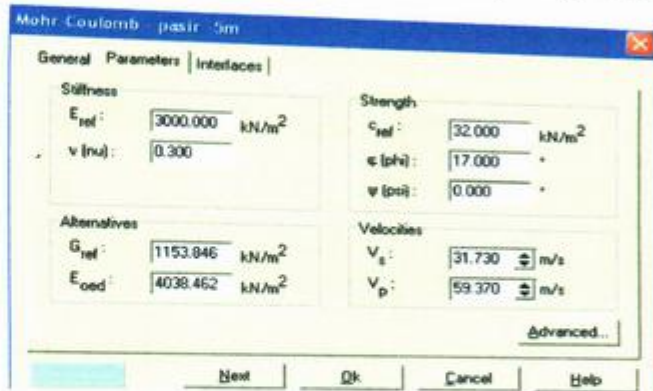
- General :
 - Identification = Pasir -5
 - Material model = *Mohr-Coulomb*
 - Material Type = Drained
 - γ dry = 11.230 kN/m³
 - γ wet = 15.810 kN/m³
 - k_x = 0,001 m/day
 - k_y = 0,001 m/day



Gambar 4.9 Properties tanah pada *tab generals*

- *Parameters :*

Isikan *parameter* sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)



Gambar 4.10 Properties tanah pasir pada *tab parameters*

- *Interfaces :*

Isikan *interfaces* sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)

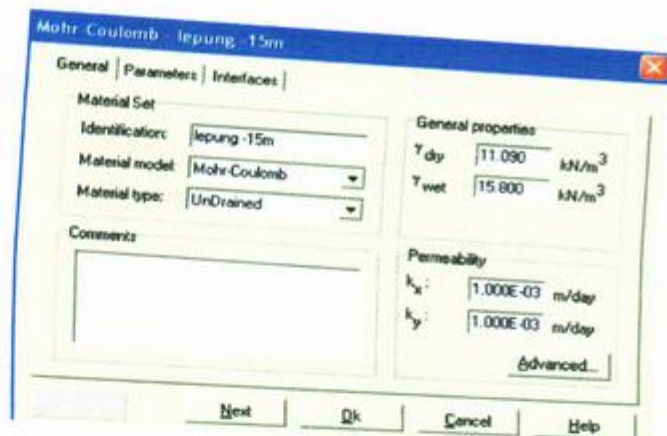


Gambar 4.11 Properties tanah pasir pada *tab interfaces*

2. Untuk material tanah lempung :

- General :

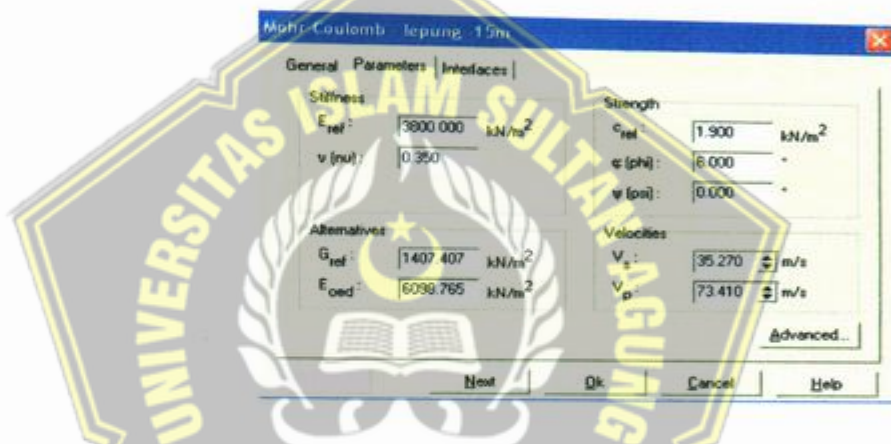
- Identification = Lempung -15
- Material model = *Mohr-Coulomb*
- Material Type = UnDrained
- γ dry = 11.090 kN/m³
- γ wet = 15.800 kN/m³
- kx = 0,001 m/day
- ky = 0,001 m/day



Gambar 4.12 Properties tanah pada *tab generals*

- *Parameters* :

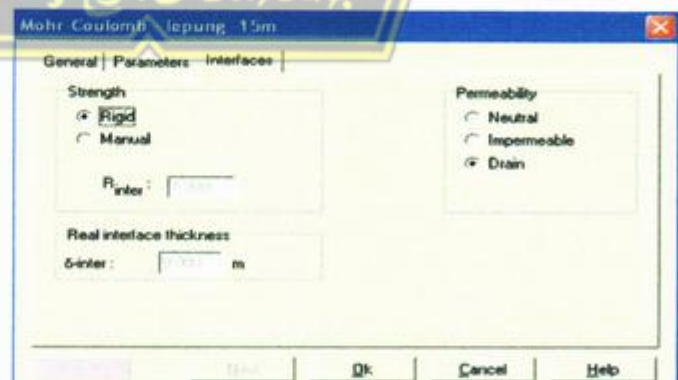
Isikan *parameter* sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)



Gambar 4.13 Properties tanah lempung pada *tab parameters*

- *Interfaces* :

Isikan *interfaces* sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)

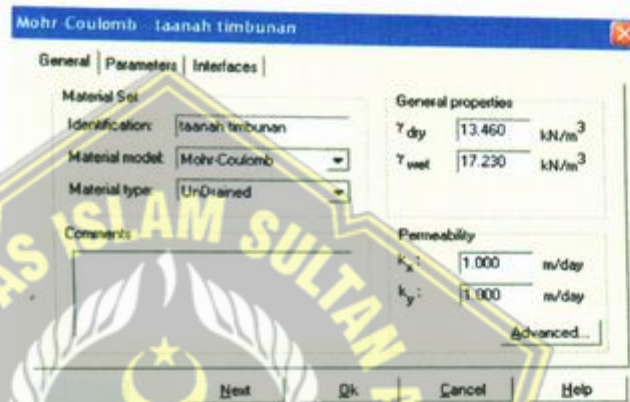


Gambar 4.14 Properties tanah lempung pada *tab interfaces*

3. Untuk material tanah timbunan

- General :

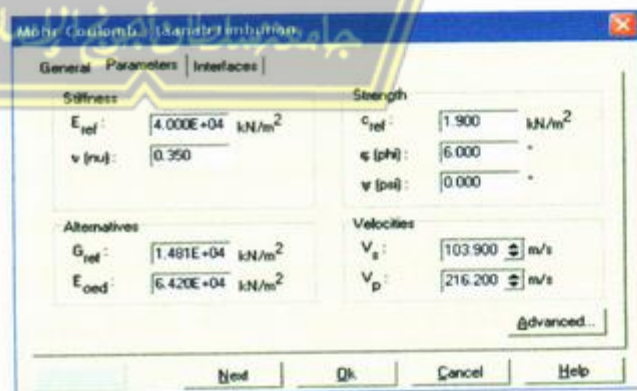
- Identification = Tanah timbunan
- Material model = *Mohr-Coulomb*
- Material Type = UnDrained
- γ dry = 13.460 kN/m^3
- γ wet = 17.230 kN/m^3
- k_x = 1 m/day
- k_y = 1 m/day



Gambar 4.15 Properties tanah timbunan pada tab generals

- Parameters :

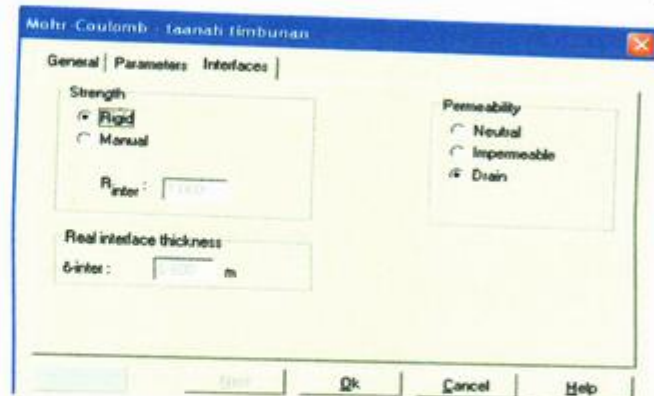
Isikan parameter sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)



Gambar 4.16 Properties tanah timbunan pada tab parameters

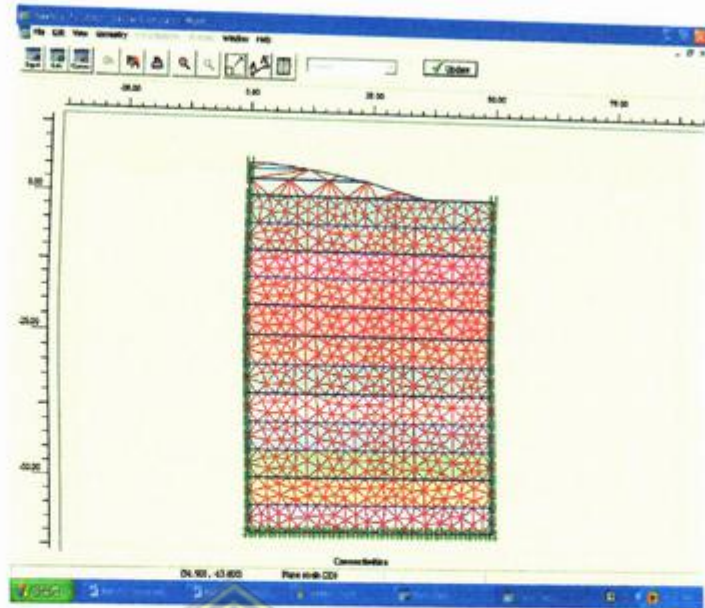
- *Interfaces :*

Isikan *interfaces* sesuai data tabel 4.15 (lihat gambar)



Gambar 4.17 Properties tanah timbunan pada *tab interfaces*

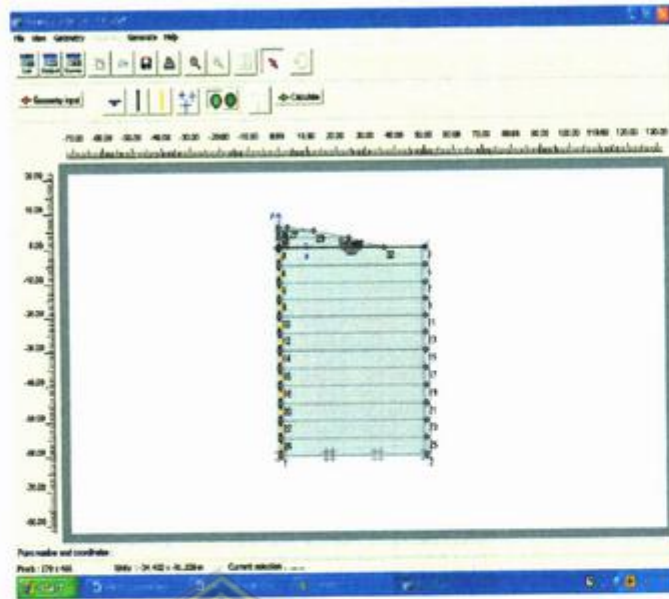
- Klik tombol *OK* untuk menyetujuinya.
- Klik tombol *New* lagi untuk membuat data cluster tiap lapisan tanah yang lain. Setelah itu lakukan langkah yang sama seperti pembuatan data cluster sebelumnya, dengan mengisi sesuai data *cluster* yang akan ada (dilihat pada tabel 4.15) Kemudian klik *OK*.
- Setelah data *cluster* 1-12 dimasukkan, maka akan muncul set data tiap-tiap *cluster* pada jendela *material set*.
- Klik set data cluster dan *drag* (tekan dan geser) dan tempatkan pada geometri yang telah ditentukan sebelumnya. Yaitu pada tanah pasir dan lempung, tanah timbunan.
-  *Generation mesh*, setelah data mengenai tanah pasir dan lempung, tanah timbunan sudah dimasukkan dalam input, langkah selanjutnya adalah memberikan *Standart Fixites* untuk pemodelan dan kemudian tekan tombol *Generated Mesh* untuk menunjukkan hasil *Element distribution Mesh* yang terjadi pada konstruksi. Tampilan layarnya adalah sebagai berikut :



Gambar 4.18 *Finite Element Mesh*

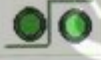
1. → Initial conditions *Initial conditions*

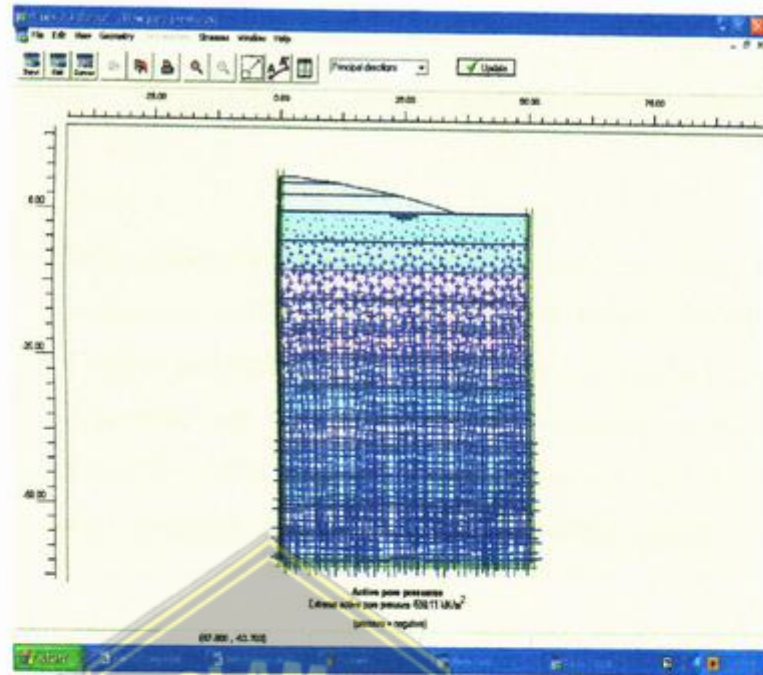
Tahap ini adalah untuk menentukan ketinggian muka air tanah (*Phreatic Line*) yang setelah itu digunakan untuk menganalisa besarnya tekanan air tanah. Berat jenis air diketahui 10 kN/m^3 . Pada pemodelan ini ketinggian muka air tanahnya adalah pada permukaan tanah. Kemudian pada sisi sebelah kiri diberi pembatas dengan *closed flow boundary* dan *closed consolidation boundary* untuk mengantisipasi adanya air pori yang keluar dari geometri. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



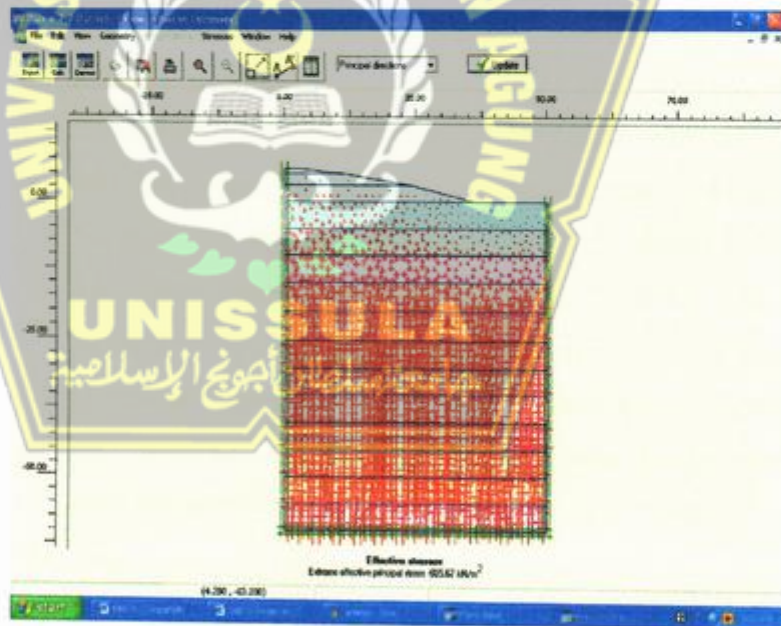
Gambar 4.19 *Initial Conditions*

m.  Setelah itu tekan tombol *Generate water pressures* untuk mengetahui tekanan air tanah. Model konstruksi seperti diatas tekanan air tanahnya didapatkan sebesar -598.11 kN/m^2 (tekanan negatif).

n.  Selanjutnya tekan tombol *update* lalu tekan tombol yang sebelah kanan kemudian tekan *generate initial stresses* untuk mengetahui tekanan awal *phase*. Tekanan tanahnya (*Effectife stresses*) didapat sebesar -605.67 kN/m^2 kemudian tekan *update*.



Gambar 4.20 Tekanan Air Tanah



Gambar 4.21 Tekanan Tanah pada Tahap Awal

- o. Selanjutnya tekan tombol  *Calculate* untuk merancang tahap-tahap konstruksi selanjutnya. Perhitungan dengan menggunakan program *PLAXIS* ini dilakukan dalam 6 *phase* yaitu :

1) *Phase 1*

Dimana tahap ini struktur tanah diberi beban timbunan 3m. Sedangkan timbunan 5m dan 6m masih belum diaktifkan. Caranya pada tab *General-calculations type* dipilih *plastic*, sedangkan tab *parameters* di klik *staged contruction* kemudian *define* maka akan muncul jendela baru. Setelah itu timbunan di klik hingga berwarna coklat yang menandakan timbunan sudah aktif, lalu tekan *update*.

2) *Phase 2*

Pada *phase* ini mencari besarnya konsolidasi pada timbunan 3m dan akses air pori. Caranya pada tab *general - calculations type* dipilih *consolidation*, sedangkan tab *parameters* dipilih *minimum pore pressure*.

3) *Phase 3*

Pada *phase* ini struktur tanah diberi beban timbunan 3m dan 5m. Sedangkan timbunan 6m masih belum diaktifkan. Caranya pada tab *General-calculations type* dipilih *plastic* kemudian *start from phase* diganti *1-initial phase*, sedangkan tab *parameters* di klik *staged contruction* kemudian *define* maka akan muncul jendela baru. Setelah itu timbunan di klik hingga berwarna coklat yang menandakan timbunan sudah aktif, lalu tekan *update*

4) *Phase 4*

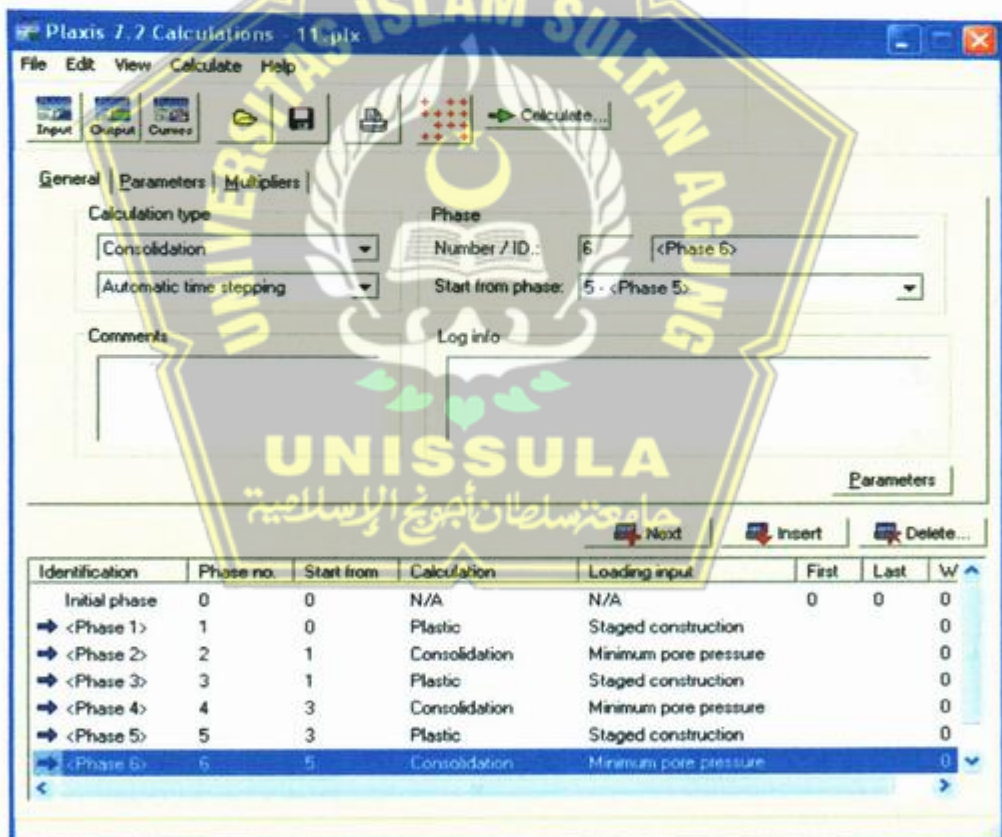
Pada *phase* ini mencari besarnya konsolidasi pada timbunan 5m dan akses air pori. Caranya pada tab *general - calculations type* dipilih *consolidation*, sedangkan tab *parameters* dipilih *minimum pore pressure*.

5) Phase 5

Pada *phase* ini struktur tanah diberi beban timbunan 3m, 5m dan 6m. Caranya pada tab *General-calculations type* dipilih *plastic* kemudian *start from phase* diganti 3-*initial phase*, sedangkan tab *parameters* di klik *staged contruction* kemudian *define* maka akan muncul jendela baru. Setelah itu timbunan di klik hingga berwarna coklat yang menandakan timbunan sudah aktif, lalu tekan *update*

6) Phase 6

Pada *phase* ini mencari besarnya konsolidasi dan akses air pori setelah semua timbunan sudah diaktifkan. Caranya pada tab *general - calculations type* dipilih *consolidation*, sedangkan tab *parameters* dipilih *minimum pore pressure*.

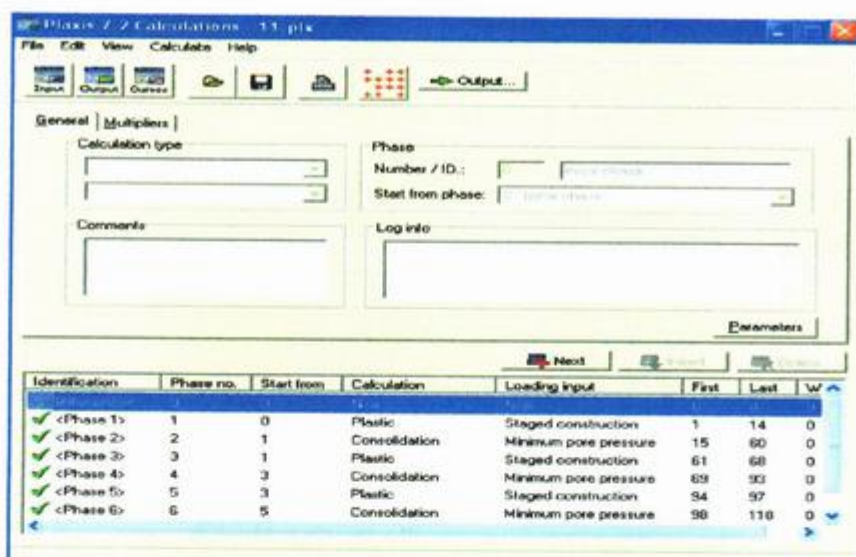


Gambar 4.22 Jendela *calculations*

p. Kalkulasi (*Calculations*)

Setelah tahap-tahap konstruksi tersusun, langkah selanjutnya adalah menekan Tombol *Select Point for Curves* yang berada disebelah kiri tombol *Calculations* untuk memperoleh besarnya penurunan dan kurva hasil kalkulasi. Setelah memilih titik pengamatan, maka dapat langsung di *Calculate*.



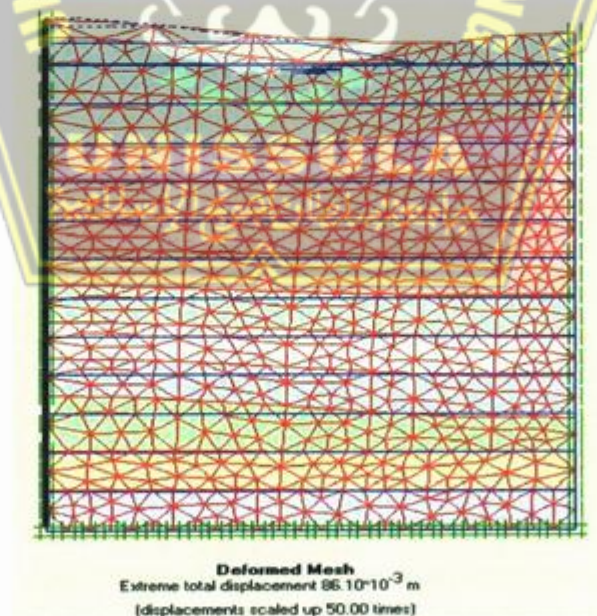


Gambar 4.24 Kalkulasi (*Calculations*)

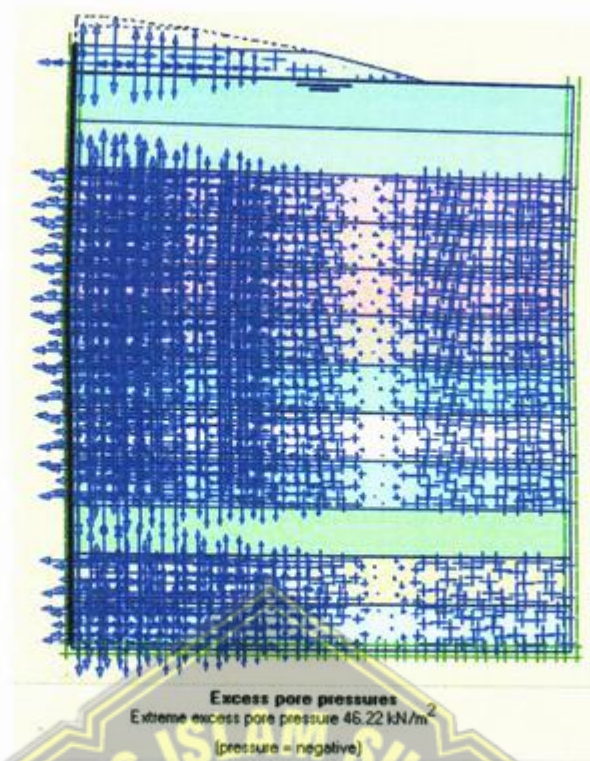
Hasil-hasil analisa yang ditunjukkan oleh program *PLAXIS* diantaranya adalah sebagai berikut :

- ❖ *Deformed Mesh*
- ❖ *Excess Pore Pressures*
- ❖ *Effective Stresses*

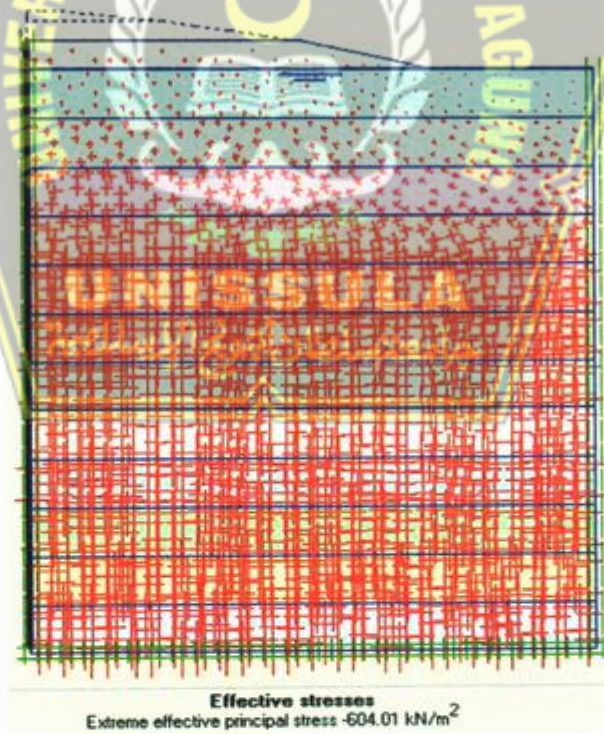
Phase 1



Gambar 4.25 *Deformed Mesh Phase 1*

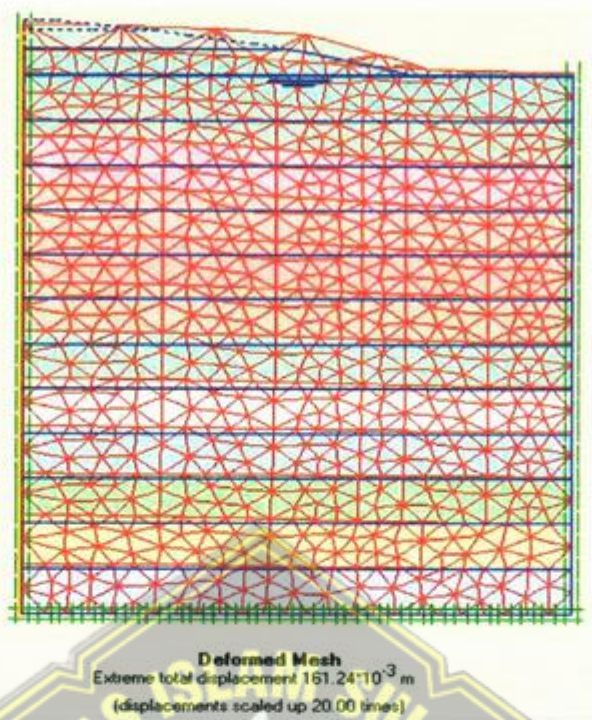


Gambar 4.26 *Excess Pore Pressures Phase I*

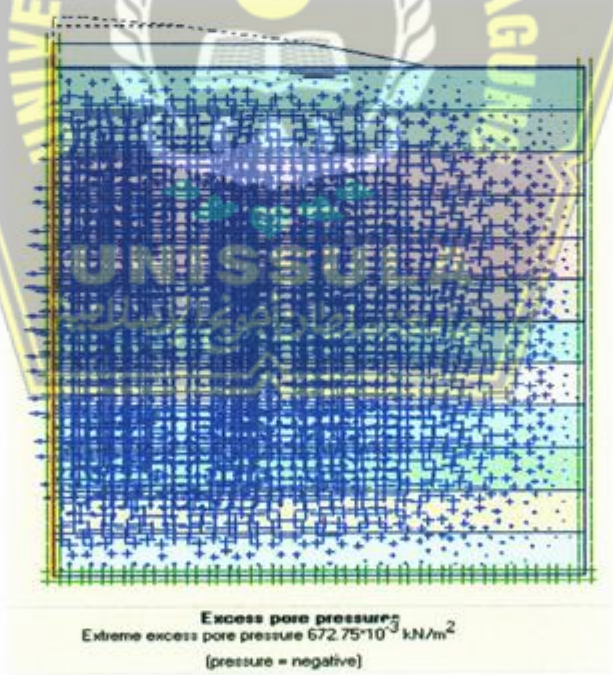


Gambar 4.27 *Effective Stresses Phase I*

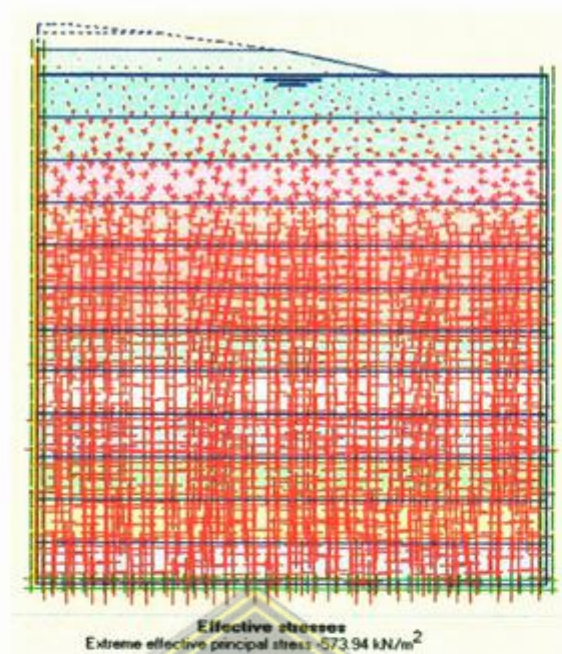
Phase 2



Gambar 4.28 Deformed Mesh Phase 2

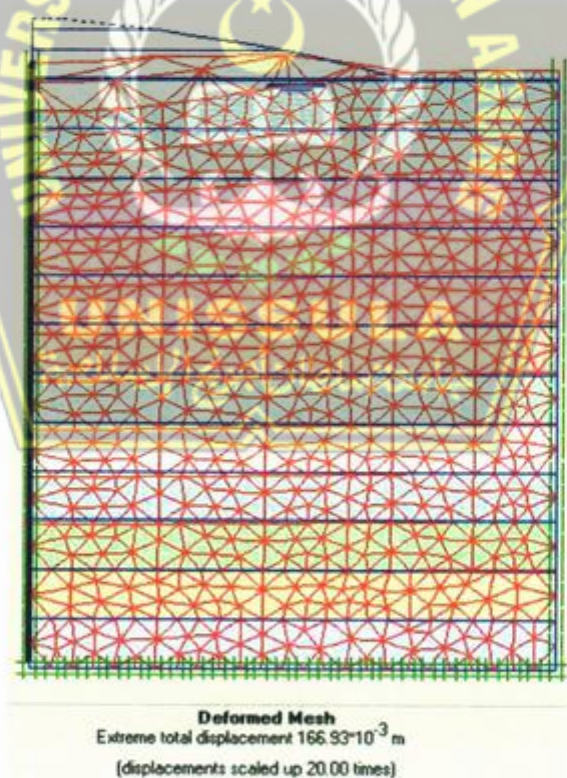


Gambar 4.29 Excess Pore Pressures Phase 2

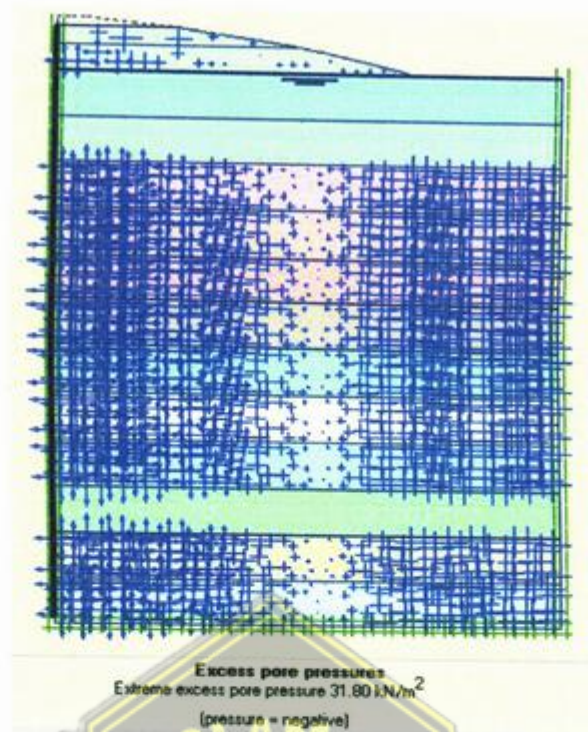


Gambar 4.30 *Effective Stresses Phase 2*

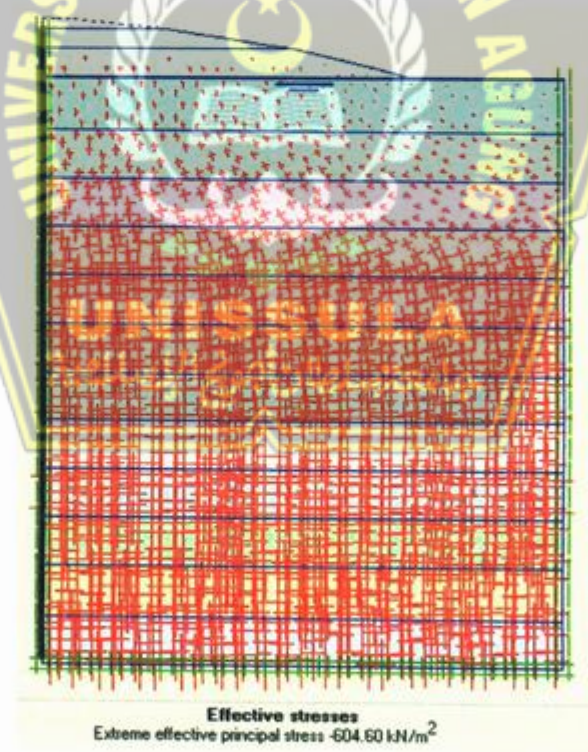
Phase 3



Gambar 4.31 *Deformed Mesh Phase 3*

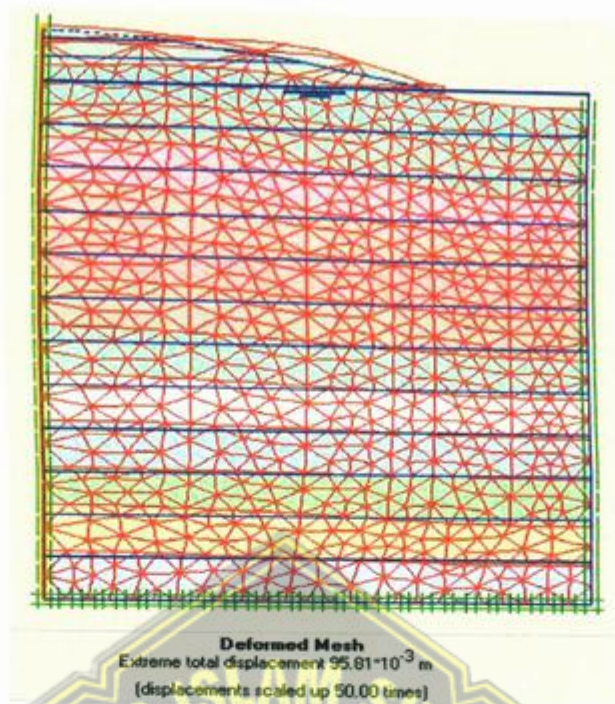


Gambar 4.32 *Excess Pore Pressures Phase 3*

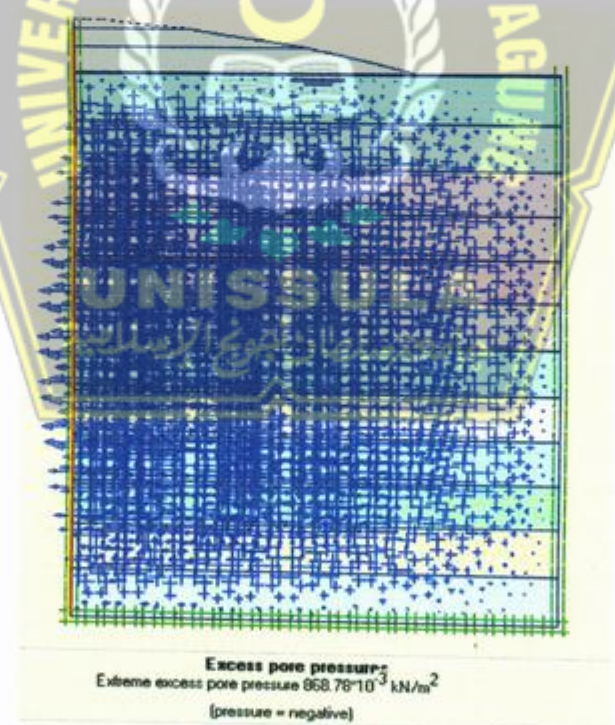


Gambar 4.33 *Effective Stresses Phase 3*

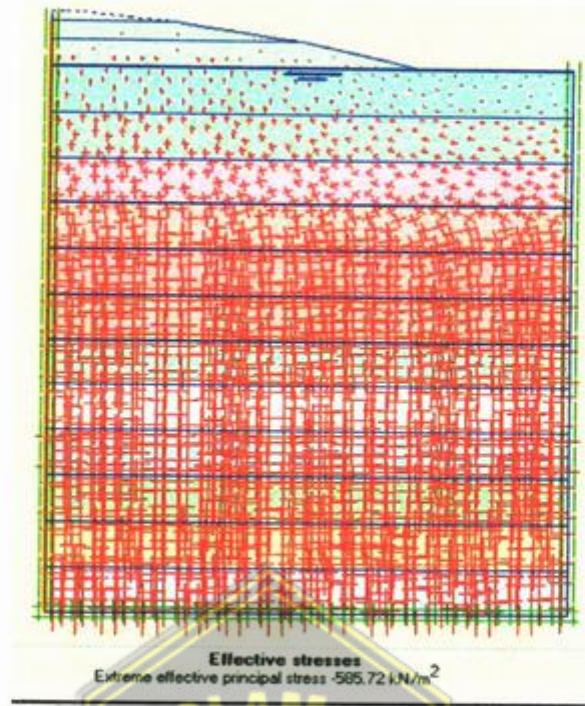
Phase 4



Gambar 4.34 Deformed Mesh Phase 4

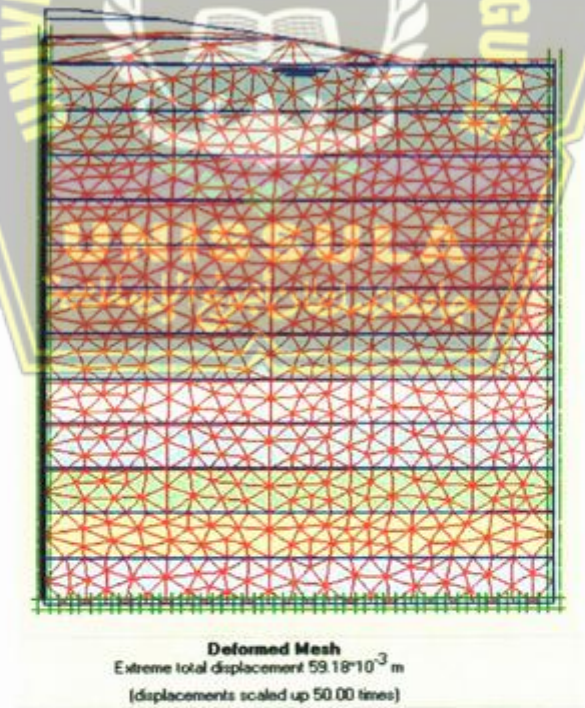


Gambar 4.35 Excess Pore Pressures Phase 4

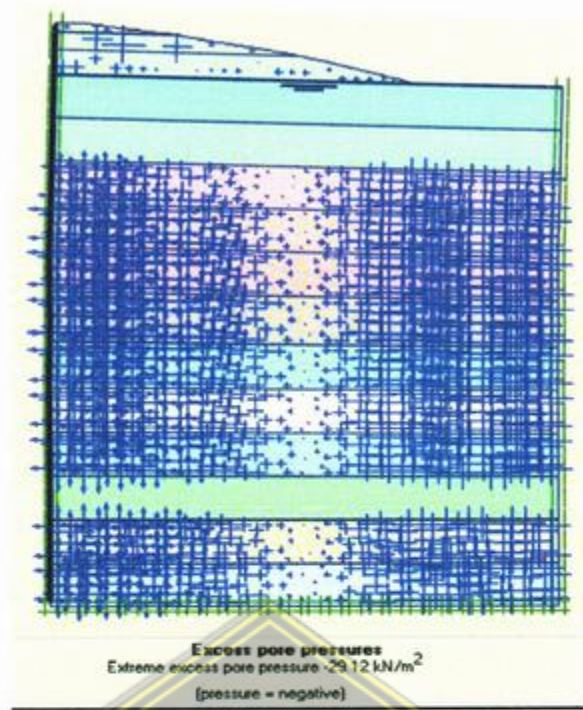


Gambar 4.36 *Effective Stresses Phase 4*

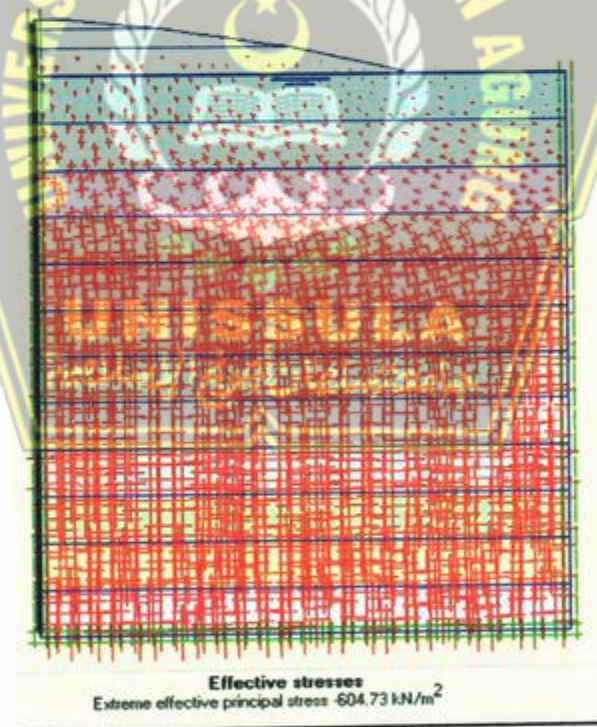
Phase 5



Gambar 4.37 *Deformed Mesh Phase 5*

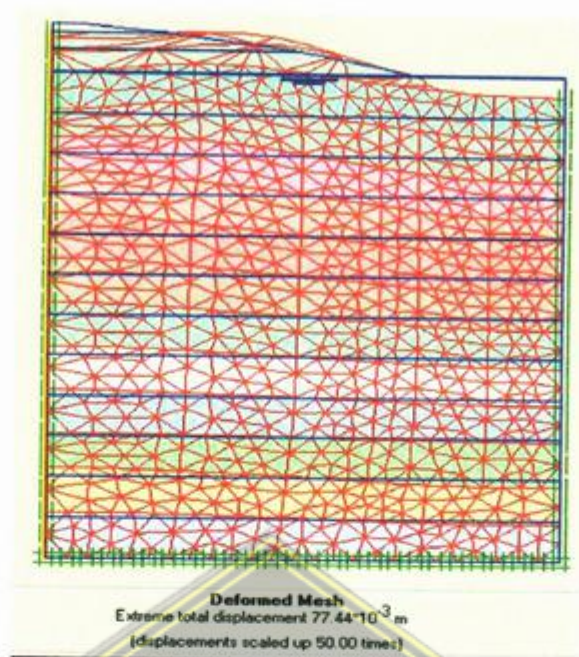


Gambar 4.38 Excess Pore Pressures Phase 5

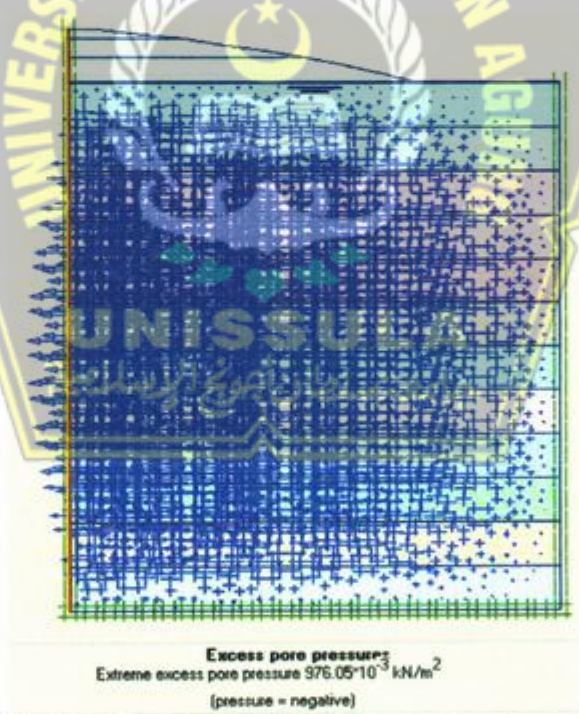


Gambar 4.39 Effective Stresses Phase 5

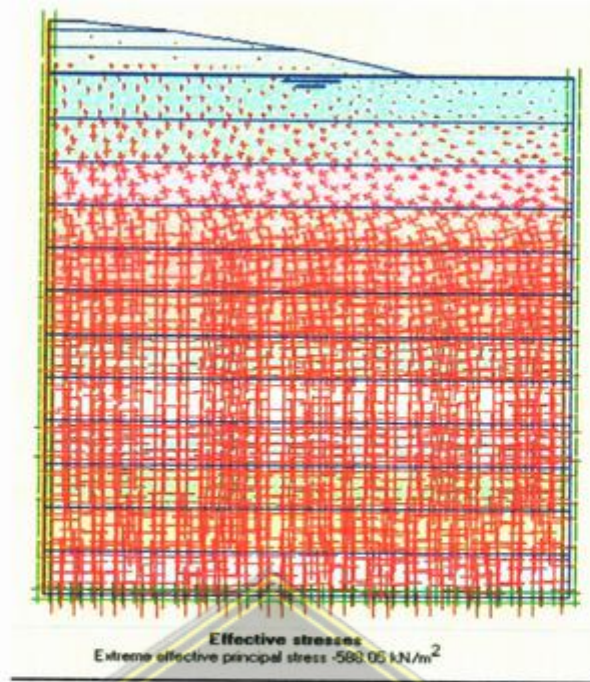
Phase 6



Gambar 4.40 Deformed Mesh Phase 6



Gambar 4.41 Excess Pore Pressures Phase 6



Gambar 4.41 *Effective Stresses Phase 6*

4.4 Hasil Analisa dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan dengan program PLAXIS yang dilakukan dalam Tugas Akhir ini maka didapat hasil penurunan segera, penurunan konsolidasi dan tekanan air pori (*excess pore prressure*).

Pada analisis diatas, untuk *phase 1* permukaan tanah diberi timbunan 3m, *phase 2* adalah konsolidasi timbunan 3m, *phase 3* timbunan ditambah menjadi 5m, *phase 4* adalah konsolidasi pada saat timbunan ditambah menjadi 5m, *phase 5* timbunan ditambah menjadi 6m, sedangkan *phase 6* adalah konsolidasi ketika timbunan tanah ditambah menjadi 6m.

Berdasarkan hasil perhitungan penurunan tanah dengan menggunakan PLAXIS maupun dengan menggunakan perhitungan manual, maka didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.16

Hasil Analisis Perhitungan Besar Penurunan Secara Manual

No	Analisis Perhitungan	Perhitngan Manual (m)
1	Penurunan Segera	0,111
2	Penurunan Konsolidasi	0,411

Dari tabel diatas, hasil perhitungan besar penurunan segera pada kedalaman -45 m dengan menggunakan cara manual didapat hasil sebesar 0,111 m, dan penurunan konsolidasi sebesar 0,411 m.

Tabel 4.17

Hasil Analisis Perhitungan menggunakan progam PLAXIS

No	Analisis Perhitungan	PLAXIS (m)
1	Penurunan Segera	0,311
2	Penurunan Konsolidasi	0,333

Berdasarkan analisa *Displacement* menggunakan progam PLAXIS besar penurunan segera pada kedalaman -45 m didapat hasil sebesar 0,311 m, dan penurunan konsolidasi sebesar 0,333 m. Maka dari tabel diatas dapat diketahui bahwa penurunan secara manual dan dengan progam PLAXIS tidak jauh berbeda.

Salah satu alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah kondisi lapisan tanah dasar lunak adalah dengan menggunakan material *Prevabricated Vertical Drains (PVD)*.

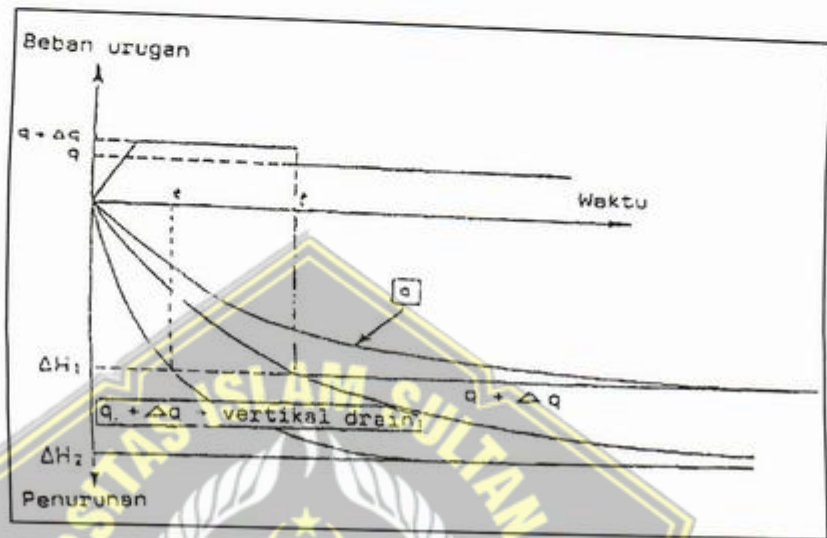
4.5 Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar

4.5.1 Teori Dasar Pemilihan Perencanaan

Salah satu permasalahan yang dihadapi Disposal Area Kali Semarang ini sesuai dengan identifikasi masalah yang ada, adalah : longsor klasik (*overall stability*), longsor progresif akibat pengaruh beban diatas permukaan tanah. Longsoran klasik disebabkan oleh berat timbunan yang melebihi momen resistance

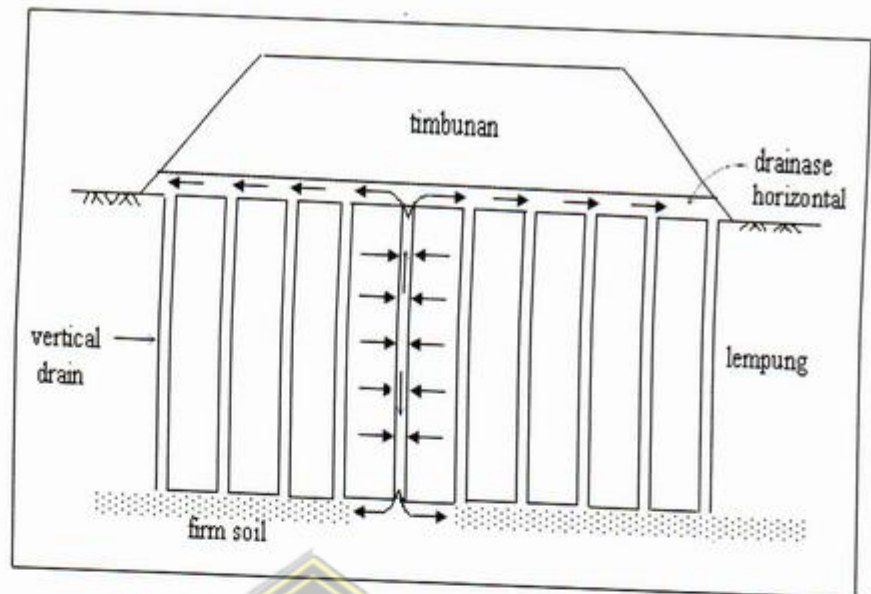
yang terjadi pada tinggi timbunan lebih dari 6,0 m dengan sudut lereng lebih dari 30° . Untuk longsor progresif akibat beban diatas timbunan dan longsor shrinkage pada tanah ekspansif disebabkan sudut lereng timbunan lebih 6° karena tinggi.

Untuk menanggulangi permasalahan tersebut dilakukan perbaikan tanah dasar dengan metode prakompresi.



Gambar 4.42 Prinsip perbaikan tanah metode prakompresi

Prinsip pekerjaan perbaikan tanah dengan metode prakompresi adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.42. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa apabila tanah dasar dibebani urugan tanah q maka akan mengalami penurunan sebesar ΔH_1 . apabila urugan tanah q ditambah dengan *surchage* Δq maka tanah dasar akan mengalami penurunan sebesar $\Delta H_2 > \Delta H_1$. Dengan demikian apabila dikehendaki penurunan sebesar ΔH_1 saja maka waktu yang diperlukan dengan tambahan beban *surchage* Δq akan semakin cepat terjadi. Apabila selain tambahan beban *surchage* Δq pada tanah dipasang vertical drains maka waktu yang diperlukan untuk mencapai penurunan sebesar ΔH_1 akan semakin lebih cepat.



Gambar 4.43 Tipikal pekerjaan prakompresi dengan penggunaan PVD

Pada suatu pelaksanaan pekerjaan perbaikan tanah metode prakompresi dengan penggunaan *vertical drain*, secara tipikal item-item pekerjaan yang harus dilaksanakan adalah seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.43 Item-item pekerjaan yang dimaksud diantaranya adalah *vertical drains*, *timbunan (preloading)*, *surcharge*, *horizontal drains*, dan instrumentasi geoteknik.

4.5.2 Perhitungan Perbaikan Tanah Dengan PVD

Untuk mempercepat pemampatan pada tanah dasar dipasang bahan *prefabricated vertical drains (PVD)*. Perhitungan PVD yang utama adalah menentukan kedalaman pemasangan dan pola serta titik pemasangan PVD. Untuk menentukan kedalaman pemasangan PVD. Tidak dilakukan perhitungan melainkan hanya berdasarkan kondisi lapisan tanah dasar. Dalam hal ini kedalaman pemasangan *vertical drain* ditentukan pada lapisan *soft clay* sampai *hard clay* yaitu sedalam 60 m.

Penentuan pola serta jarak titik pemasangan PVD digunakan formula Barron (1984), tanpa memperhatikan pengaruh gangguan tanah (*smear*), sebagai berikut :

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left[\frac{1}{1-U_r} \right] \dots\dots\dots \text{Mengacu pada rumus (3.6)}$$

Dengan,

t = Perhitungan penurunan dengan adanya PVD

D = Diameter ekuivalen akibat pengaruh PVD

$D = 1,13 D_s$ (pola pemasangan bujur sangkar)

$D = 1,05 D_s$ (pola pemasangan segitiga)

S = Jarak pemasangan PVD

$F(n)$ = Fungsi hambatan akibat jarak antara PVD = $\ln (D/dw) - 0,75$

dw = Diameter ekuivalen dari PVD = $(a+b)/2$,

a = tebal PVD, b = lebar PVD

U_r = Derajat konsolidasi tanah arah horisantal

Ch = Koefisien konsolidasi arah horisantal

Diketahui :

- $a = 3,5 \text{ mm} = 0,0035 \text{ m}$

- $b = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$

- $dw = (0,0035 + 0,1) / 2 = 0,052$

- $C_v = 0,002 \text{ cm}^2/\text{detik} = 0,0000002 \text{ m}^2/\text{detik}$

- $Ch = 2 \cdot C_v$

$2 \cdot 0,0000002 = 0,0000004$

➤ Jika $U_r = 90\%$, $S = 0,90 \text{ m}$

$D = 1,05 \times 0,90 = 0,945 \text{ m}$

$$F(n) = \ln \left[\frac{D}{dw} \right] - 0,75$$

$$= \ln \left[\frac{0,945}{0,052} \right] - 0,75$$

$$= 2,14$$

$$t = \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left[\frac{1}{1-U_r} \right]$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,945^2}{8 \cdot (4 \cdot 10^{-7})} \cdot 2,14 \cdot \ln \left[\frac{1}{1-0,9} \right] \\
 &= 1375128 \text{ s} \\
 &= 2,2 \text{ minggu}
 \end{aligned}$$

➤ Jika $U_r = 90\%$, $S = 1 \text{ m}$

$$D = 1,05 \times 1 = 1,05 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \ln \left[\frac{D}{dw} \right] - 0,75 \\
 &= \ln \left[\frac{1,05}{0,052} \right] - 0,75 \\
 &= 2,25
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left[\frac{1}{1-U_h} \right] \\
 &= \frac{1,05^2}{8 \cdot (4 \cdot 10^{-7})} \cdot 2,25 \cdot \ln \left[\frac{1}{1-0,9} \right] \\
 &= 1784953 \text{ s} \\
 &= 2,9 \text{ minggu}
 \end{aligned}$$

➤ Jika $U_r = 90\%$, $S = 1,1 \text{ m}$

$$D = 1,05 \times 1,1 = 1,155 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \ln \left[\frac{D}{dw} \right] - 0,75 \\
 &= \ln \left[\frac{1,155}{0,052} \right] - 0,75
 \end{aligned}$$

$$= 2,35$$

$$\begin{aligned}
 t &= \frac{D^2}{8C_h} F(n) \ln \left[\frac{1}{1-U_h} \right] \\
 &= \frac{1,155^2}{8 \cdot (4 \cdot 10^{-7})} \cdot 2,35 \cdot \ln \left[\frac{1}{1-0,9} \right] \\
 &= 2255784 \text{ s} \\
 &= 3,7 \text{ minggu}
 \end{aligned}$$

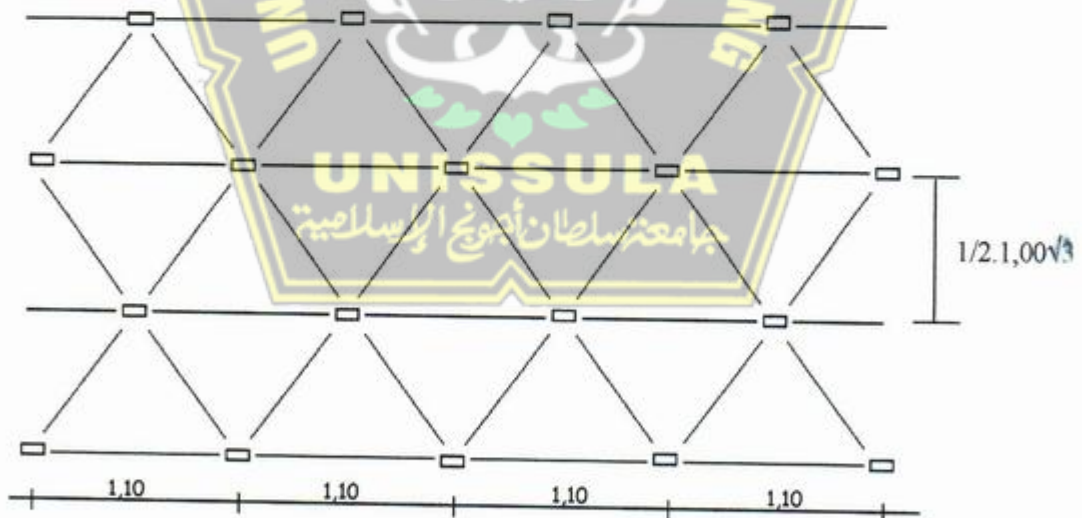
Berdasarkan perhitungan diatas diketahui bahwa pada pemasangan PVD pola segitiga maka hubungan antara jarak pemasangan PVD dengan waktu penurunan tanah dasar pada derajat konsolidasi tertentu adalah seperti yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.18

Hubungan jarak *vertical drains* dan waktu penurunan pola segitiga

Jarak pemasangan Vertical Drains	Waktu penurunan ($U_r=90\%$)
0,90 meter	2,2 minggu
1,00 meter	2,9 minggu
1,10 meter	3,7 minggu

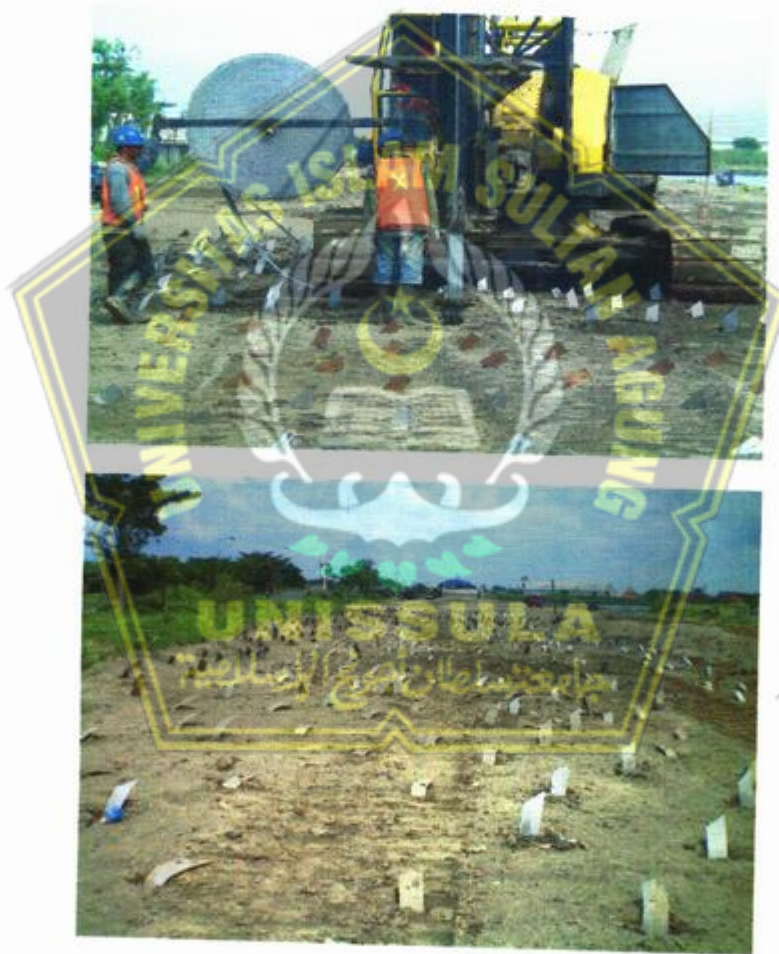
Berdasarkan target waktu pelaksanaan pekerjaan tanah termasuk perbaikannya dengan alokasi waktu selama 4 bulan maka diambil keputusan bahwa PVD dipasang dengan pola segitiga dan jarak 1,10 m dengan waktu penurunan pada $U_r = 90\%$ selama 3,7 minggu.



Gambar 4.44 Pola Pemasangan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD)



Gambar 4.45 Material *Prefabricated Vertical Drains* (PVD)



Gambar 4.46 Pelaksanaan *Prefabricated Vertical Drains* (PVD) di lapangan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil studi kasus yang dilakukan pada Disposal Area Kali Semarang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar kedalaman lapisan tanah, maka nilai penurunan yang terjadi semakin kecil.
2. Semakin besar tinggi timbunan maka semakin besar penurunan tanahnya. Hal ini dikarenakan semakin tinggi timbunan maka penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (Δp) semakin besar.
3. Berdasarkan analisis perhitungan besar penurunan yang terjadi pada kedalaman -45 m baik dengan menggunakan cara manual maupun dengan menggunakan program PLAXIS hasilnya tidak jauh berbeda.
4. Perbaikan tanah dengan metode penggunaan material PVD, merupakan alternatif pilihan yang efektif dan efisien serta menunjukkan kinerja yang baik.
5. Pada skala penurunan $U_r = 90\%$, hasil perhitungan perbaikan dengan menggunakan PVD didapatkan waktu penurunan tanah yang lebih singkat yaitu 3,7 minggu dibandingkan sebelum menggunakan PVD, yaitu selama 166,9 tahun.

5.2 Saran

Dari penelitian tugas akhir yang dilakukan penulis dengan judul “Analisis Penurunan dan Stabilisasi Tanah Disposal Area Kali Semarang” merekomendasikan sebagai berikut :

1. Dalam perhitungan penurunan perlu juga diperhitungkan penurunan akibat konsolidasi agar mendapatkan hasil penurunan total yang merupakan jumlah penurunan segera dan penurunan akibat konsolidasi.

2. Dalam menganalisa dengan menggunakan program PLAXIS diperlukan data yang lengkap, agar memudahkan dalam memasukkan *input* dan menganalisanya.
3. Dalam menjalankan program PLAXIS harus diperhatikan urutan pekerjaan, karena akan mempengaruhi pada hasil analisa.
4. Dari hasil analisa yang telah dilakukan penggunaan *Prefabricated Vertical drains* (PVD) pada tanah dasar (*subgrade*) dapat mempercepat waktu penurunan, untuk pembuktian hal tersebut disarankan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.
5. Meskipun dari segi ekonomi dalam studi ini tidak dibahas, dan belum diketahui apakah sistem PVD akan lebih ekonomis atau tidak. Namun demikian, akan lebih baik apabila penggunaan PVD pada tanah lunak ekspansif ini dicoba untuk diterapkan.

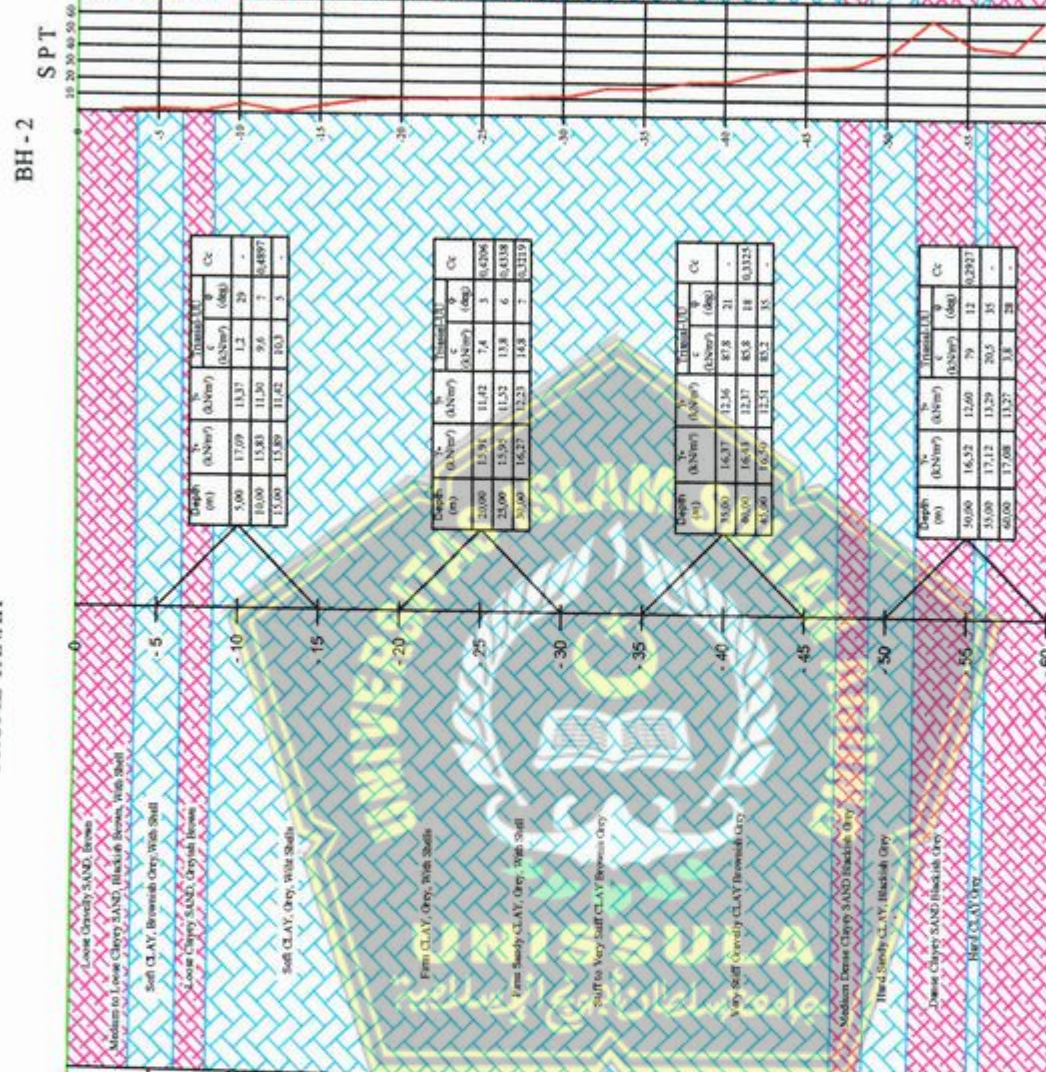
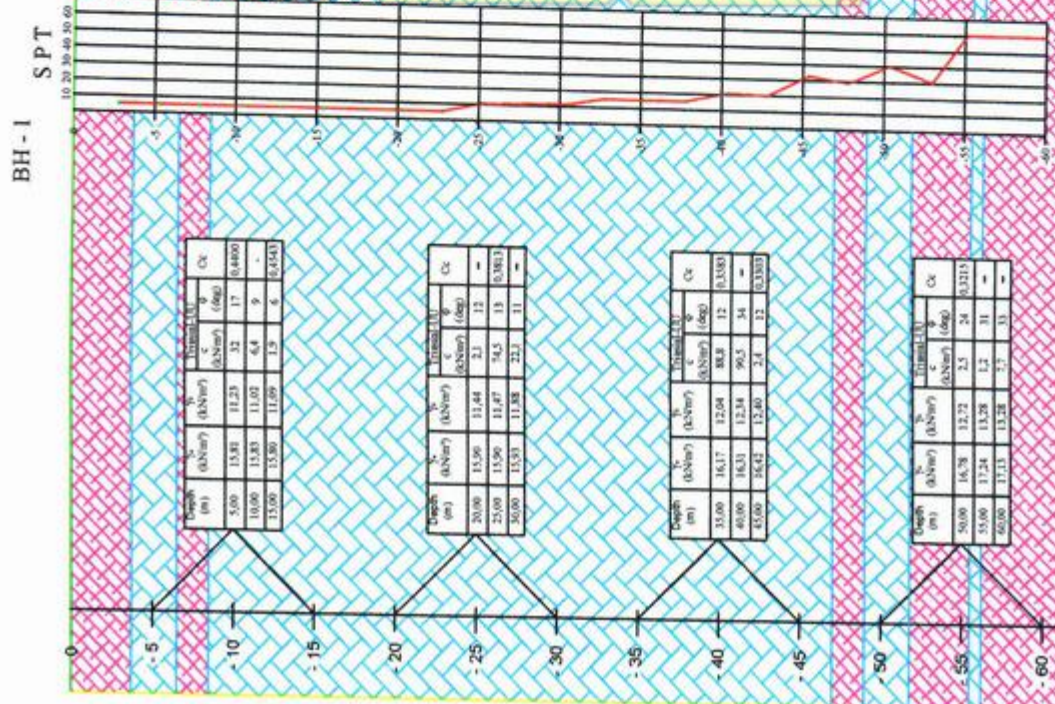


DAFTAR PUSTAKA

1. Braja M.Das, 1998, *Mekanika Tanah, Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*, Erlangga, Jakarta.
2. Hardiyanto, H.C, 2002, *Mekanika Tanah I*, Gadjah mada University Press, Yogyakarta.
3. Hardiyanto, H.C, 2003, *Mekanika Tanah II*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
4. Hardiyanto, H.C, 2001, *Prinsip-Prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian I*, Beta Offset, Yogyakarta.
5. Pratikso, *Diktat Analisa Pondasi Tanah Lunak (Stabilitas Tanah)*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Unissula, Semarang.
6. Rochim, A. (1998), Referensi PLAXIS (*Finite Element Code For Joint and Rock Analyses*), Versi 7.11, Netherlands.



PROFIL TANAH





Urban Drainage System Improvement For The Western Area of Semarang City

BORING LOG

Box Hole : BH - 1 Sheet 1 of 2

Location	: SEMARANG RIVER
----------	------------------

Boring Depth : 60.00 Meter

Elevation	: 1.200 Meter
-----------	---------------

Ground Water Level (GWL): Meter

Coordinate	X=434417.713 Y=9231697.028
------------	----------------------------

Angle	X=434417
Bearing	Bearing

Drilling Machine	: TONE UD 5
------------------	-------------

Date : 11/09/2008 to 17/09/2008

0 Dried by : Snyono

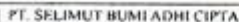
Logged by : Harno

Supervisor : Ir. Prakoso Rachawidowo

CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL

CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL																																					
1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18		19	
Date		Depth (M)		Elevation		Stratum Thickness		Soil Profile		Classification		GWL		Description		Standard Penetration Test		Core Barrel Type		Method of Sampling		Specific Gravity		Water Content (%)		Unit Weight (m ³)		Void Ratio (e)		Atterberg Limits		Kind of test		Angle Internal Friction (°)		Cohesion (Kg/cm ²)	
																N - Value Number of Blows per 30 cm Penetration														Limit (%) Plastic Index (%) Liquid Limit (%)							
																0 10 20 30 40 50 60												0 40 80 120 160									
11-09-2008		0		22		0								loose gravelly SAND, brown		0		Core Barrel Type		Method of Sampling		2.5829		40.79		1.581		1.300									
		1		22		0										1																					
		2		22		0										2																					
		3		15		0								medium to loose clayey SAND, blackish brown, with shells		3																					
		4		15		0										4																					
		5		28		0								soft CLAY, brownish grey, with shells		5																					
		6		28		0										6																					
		7		28		0										7																					
		8		26		0								loose clayey SAND, greyish brown		8																					
		9		26		0										9																					
		10		26		0										10																					
		11		26		0										11																					
		12		26		0										12																					
		13		26		0								soft CLAY, grey, with shells		13																					
		14		26		0										14																					
		15		26		0										15																					
		16		26		0										16																					
		17		26		0										17																					
		18		26		0										18																					
		19		26		0										19																					
		20		26		0										20																					
		21		26		0										21																					
		22		26		0										22																					
		23		26		0										23																					
		24		26		0										24																					
		25		26		0										25																					
		26		26		0										26																					
		27		26		0										27																					
		28		26		0										28																					
		29		26		0										29																					
		30		26		0										30																					
		31		26		0										31																					
		32		26		0										32																					
		33		26		0										33																					
		34		26		0										34																					
		35		26		0										35																					
		36		26		0										36																					
		37		26		0										37																					
		38		26		0										38																					
		39		26		0										39																					
		40		26		0										40																					
		41		26		0										41																					
		42		26		0										42																					
		43		26		0										43																					
		44		26		0										44																					
		45		26		0										45																					
		46		26		0										46																					
		47		26		0										47																					
		48		26		0										48																					
		49		26		0										49																					
		50		26		0										50																					
		51		26		0										51																					
		52		26		0										52																					
		53		26		0										53																					
		54		26		0										54																					
		55		26		0										55																					
		56		26		0										56																					
		57		26		0										57																					
		58		26		0										58																					
		59		26		0										59																					
		60		26		0										60																					
		61		26		0										61																					
		62		26		0										62																					
		63		26		0										63																					
		64		26		0										64																					
		65		26		0										65																					
		66		26		0										66																					
		67		26		0										67																					
		68		26		0										68																					
		69		26		0										69																					
		70		26		0										70																					
		71		26		0										71																					
		72		26		0										72																					
		73		26		0										73																					
		74		26		0										74																					
		75		26		0										75																					
		76		26		0										76																					
		77		26		0										77																					

Source : Cipta Karya, 2008



BORING LOG

Bor Hole : BH - 1 Location : SEMARANG RIVER Boring Depth : 60.00 Meter Elevation : 1.200 Meter	Sheet 2 of 2 Ground Water Level (GWL) : Meter Coordinate : X=434417.713 Y=9231687.920 Angle : Bearing Drilling Machine : TONE LID 5	Date : 11/09/2008 to 17/09/2008 Drilled by : Stryono Logged by : Harno Supervisor : Ir. Praksoso Rachawibowo
---	---	---

CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL

CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14	15	16		17	18	19	
Date	Depth (M)	Elevation	Stratum Thickness	Soil Profile	Classification	GWL	Description	Standard Penetration Test N - Value Number of Blows per 30 cm Penetration		Cone Barrel Type Method of Sampling	Specific Gravity	Water Content (%)	Unit Weight (m ³)	Void Ratio (e)	Atterberg Limits ● Limit (%) □ Plastic Index (%) ▲ Liquid Limit (%)		Kind of test	Angle Internal Friction (°)	Cohesion (Kg/cm ²)		
								0	10	20	30	40	50	60	0	40	80	120	160		
14.09.2008	30						stiff to very stiff CLAY brownish grey	30	*	14	2.6394	34.31	1.617	1.192							
	31					31		*	15												
	32					32															
	33					33		*	16												
	34					34															
	35							35	*	18											
	36							36													
	37							37	*	18											
	38							38	*	18											
	39							39													
	40							40	*	21											
	41						very stiff gravelly CLAY brownish grey	41	*	21	2.6496	32.19	1.631	1.147							
	42					42		*	21												
	43					43		*	18												
	44					44															
	45					45		*	33												
	46							46													
	47							47	*	28											
	48						medium dense clayey SAND blackish grey	48	*	28											
	49							49													
	50						hard sandy CLAY, blackish grey	50	*	37											
	51							51	*	37											
	52							52													
	53						dense clayey SAND blackish grey	53	*	33											
	54							54													
	55						hard CLAY grey	55	*	40											
	56							56	*	40											
	57						very dense gravelly SAND brown	57	*	40											
	58								58	*	40										
	59								59	*	40										
	60								60	*	40										
	61								61	*	40										
	62							62	*	40											
	63							63	*	40											
	64							64	*	40											
	65							65	*	40											
	66							66	*	40											
	67							67	*	40											
	68							68	*	40											
	69							69	*	40											
	70							70	*	40											
	71							71	*	40											
	72							72	*	40											
	73							73	*	40											
	74							74	*	40											
	75							75	*	40											
	76							76	*	40											
	77							77	*	40											
	78							78	*	40											
	79							79	*	40											
	80							80	*	40											
	81							81	*	40											
	82							82	*	40											
	83							83	*	40											
	84							84	*	40											
	85							85	*	40											
	86							86	*	40											
	87							87	*	40											
	88							88	*	40											
	89							89	*	40											
	90							90	*	40											
	91							91	*	40											
	92							92	*	40											
	93							93	*	40											
	94							94	*	40											
	95							95	*	40											
	96							96	*	40											
	97							97	*	40											
	98							98	*	40											
	99							99	*	40											
	100							100	*	40											
	101							101	*	40											
	102							102	*	40											
	103							103	*	40											
	104							104	*	40											
	105							105	*	40											
	106							106	*	40											
	107							107	*	40											
	108							108	*	40											
	109							109	*	40											
	110							110	*	40											
	111							111	*	40											
	112							112	*	40											
	113							113	*	40											
	114							114	*	40											
	115							115	*	40											
	116							116	*	40											
	117							117	*	40											
	118							118	*	40											
	119							119	*	40											
	120							120	*	40											
	121							121	*	40											
	122							122	*	40											
	123							123	*	40											
	124							124	*	40											
	125							125	*	40											
	126							126	*	40											
	127							127	*	40											
	128							128	*	40											
	129							129	*	40											
	130							130	*	40											
	131							131	*	40											
	132							132	*	40											
	133							133	*	40											
	134							134	*	40											
	135							135	*	40											
	136							136	*	40											
	137							137	*	40											
	138							138	*	40											
	139							139	*	40											
	140							140	*	40											
	141							141	*	40											
	142							142	*	40											
	143							143	*	40											
	144							144	*	40											
	145							145	*	40											
	146							146	*	40											
	147							147	*	40											
	148							148	*	40											
	149							149	*	40											
	150							150	*	40											
	151							151	*	40											
	152							152	*	40											
	153							153	*	40											

Source : Cipta Karya, 2008

				 THE REPUBLIC OF INDONESIA MINISTRY OF PUBLIC WORKS DIRECTORATE GENERAL OF HUMAN SETTLEMENT		PROVINCE CENTRAL JAWA	
				COMPONENT C URBAN DRAINAGE SYSTEM IMPROVEMENT OF SEMARANG CITY		PROJECT NAME INTEGRATED WATER INFRASTRUCTURE AND FLOOD MANAGEMENT PROJECT FOR SEMARANG	
				GEOLOGICAL CONDITION AT THE SEMARANG PUMPING STATION (2/3)		DISTRICT SEMARANG CITY	
				DRAWING NO. C1-QN-GEO-5		SHEET NO. C1-0017	
				DESIGNED CHECKED		DATE CONTRACT NO.	
				APPROVED			

Box Hole : BH - 1 Sheet 1 of 2

Location	: SEMARANG RIVER
----------	------------------

Boring Depth :	60.00 Meter
Elevation :	4.825 M

Elevation	: 1.200 Meter
-----------	---------------

Ground Water Level (GWL) : Meter

Coordinate : X=434417.713 Y=9231687.927

Angle	Bearing
-------	---------

Drilling Machine	: TONE UD
------------------	-----------

Date : 11/09/2008 to 17/09/2008

Direksi by : Sriyono

Logged by : Harro

Supervisor : Ir. Prakoso Rachwibowo

CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL

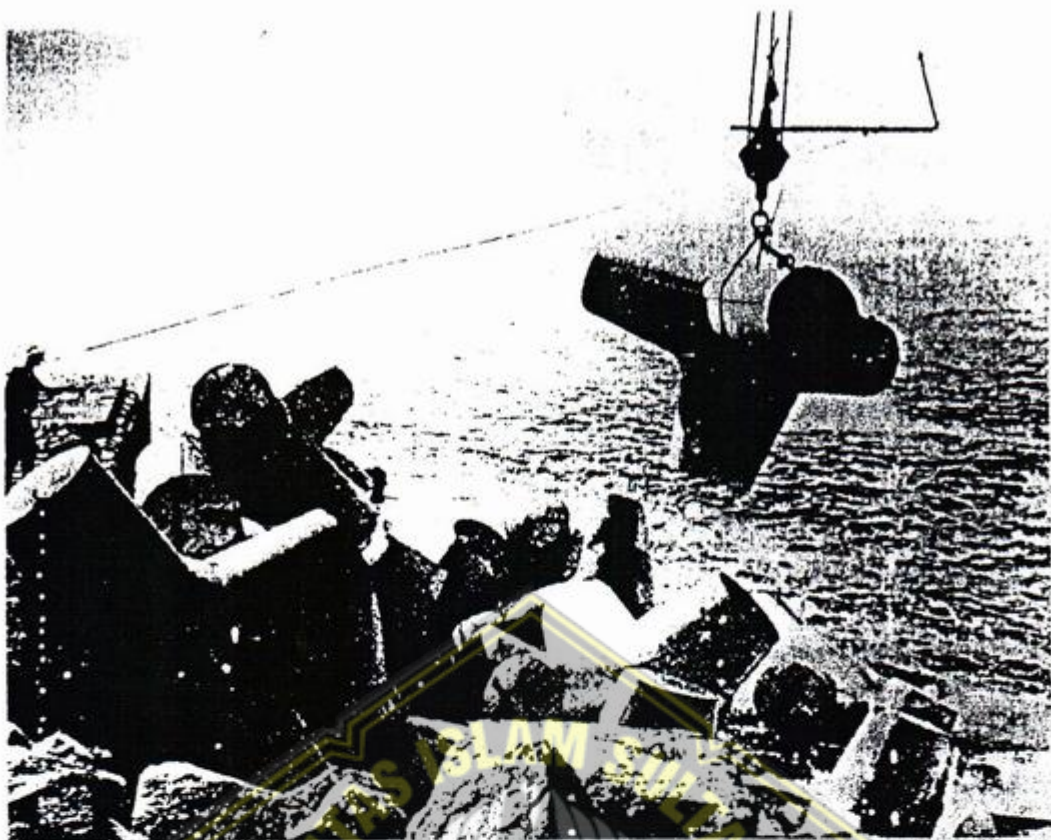
CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL																				
1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11	12	13	14	15	16		17	18	19
Date	Depth (M)	Elevation	Stratum Thickness	Soil Profile	Classification	GWL	Description	Standard Penetration Test		Core Barrel Type	Methods of Sampling	Specific Gravity	Water Content (%)	Unit Weight (m ³)	Void Ratio (e)	Atterberg Limits		Kind of test	Angle Internal Friction (°)	Cohesion (Kg/cm ²)
								N - Value	Number of Blows per 30 cm Penetration							Limit (%)	Plastic Index (%)			
								0	10	20	30	40	50	60		0	40	80	120	160
11-09-2008	0						loose gravelly SAND, brown													
	1																			
	2																			
	3						medium to loose clayey SAND, blackish brown, with shells													
	4																			
	5						soft CLAY, brownish grey, with shells					2.5829	40.79	1.581	1.300					
	6																			
	7																			
	8						loose clayey SAND, grayish brown													
	9																			
	10											2.5846	43.68	1.583	1.345					
	11																			
	12																			
	13						soft CLAY, grey, with shells					2.5819	42.38	1.580	1.328					
	14																			
	15																			
	16																			
	17																			
	18																			
	19																			
	20																			
	21											2.5972	39.04	1.590	1.270					
	22						firm CLAY, grey, with shells													
	23																			
	24																			
	25																			
	26																			
	27																			
	28																			
	29																			
	30						firm sandy CLAY, grey, with shells													
					</															

Source : Cipta Karya, 2008

 PT. SELIMUT BUMI ADHI Cipta Urban Drainage System Improvement For The Western Area of Semarang City		BORING LOG																
Bor Hole : BH - 1 Sheet 2 of 2 Location : SEMARANG RIVER Boring Depth : 60.00 Meter Elevation : 1.200 Meter		Ground Water Level (GWL) : Meter Coordinate : X=434417.713 Y=9231587.920 Angle : Bearing Drilling Machine : TONE UD 5 Date : 11/09/2008 to 17/09/2008 Drilled by : Snyong Logged by : Harjo Supervisor : Ir. Prakoso Rachwibowo																
CLASSIFICATION AND DESCRIPTION OF MATERIAL																		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Date	Depth (M)	Elevation	Stratum Thickness	Soil Profile	Classification	GWL	Description	Standard Penetration Test N - Value Number of Blows per 30 cm Penetration	Core Barrel Type	Method of Sampling	Specific Gravity	Water Content (%)	Unit Weight (m ³)	Void Ratio (e)	Atterberg Limits ● Limit (%) ○ Plastic Index (%) ▲ Liquid Limit (%)	Kind of test	Angle Internal Friction (°)	Cohesion (Kg/cm ²)
14-09-2008	30	1.200	1.5				stiff to very stiff CLAY brownish grey	14		2.6384	34.31	1.617	1.192			O	12.890	0.888
16-09-2008	31																	
	32																	
	33																	
	34																	
	35																	
	36																	
	37																	
	38																	
	39																	
	40																	
	41						very stiff gravelly CLAY brownish grey	21		2.8496	32.19	1.631	1.147			T	34.173	0.906
	42																	
	43																	
	44																	
	45																	
	46																	
	47																	
	48						medium dense clayey SAND blackish grey	28		2.7090	31.63	1.676	1.127					
	49																	
	50						hard sandy CLAY, blackish grey	37		2.7090	31.63	1.676	1.127			O	24.890	0.025
	51																	
	52																	
	53						dense clayey SAND blackish grey	33		2.7329	29.88	1.724	1.056					
	54																	
	55																	
	56						hard CLAY grey	40								O	31.290	0.012
	57																	
	58																	
	59						very dense gravelly SAND brown	40		2.7505	26.84	1.713	1.071					
	60																	
	61																	
	62																	
	63																	
	64																	
	65																	
	66																	
	67																	
	68																	
	69																	
	70																	
	71																	
	72																	
	73																	
	74																	
	75																	
	76																	
	77																	
	78																	
	79																	
	80																	
BOTTOM OF HOLE																		
LEGEND:  CORING  SPT  UDS T = Triaxial UU D = Direct Shear																		

Source : Cipta Karya, 2008

THE REPUBLIC OF INDONESIA MINISTRY OF PUBLIC WORKS DIRECTORATE GENERAL OF HUMAN SETTLEMENT					PROVINCE CENTRAL JAVA	
COMPONENT C URBAN DRAINAGE SYSTEM IMPROVEMENT OF SEMARANG CITY					PROJECT NAME INTEGRATED WATER RESOURCES AND FLOOD MANAGEMENT PROJECT FOR SEMARANG	
GEOLOGICAL CONDITION AT THE SEMARANG PUMPING STATION (2/3)					DISTRICT SEMARANG CITY	
DRAWING NO. C1-GM-GEO-8 SHEET NO. C1-0017					DATE CONTRACT NO.	
DESIGNED CHECKED					APPROVED	
NO	DATE	REVISIONS	ORIGINATED	DESIGNED	APPROVED	



CHANNEL SIDE

SEAWARD SIDE



Quadripod-Rubble-Mound Jetty



Riprap Revetment



“Bismillah membangun generasi khaira ummah”

Nomor : 06 / A.2 / SA-T / II / 2010
Lampiran : --
Perihal : Bimbingan Tugas Akhir

Kepada : Yth :

1. **Prof.Ir. H. Pratikso, MST,Ph.D. (Dosen Pembimbing I Tugas Akhir)**
 2. **Abdul Rochim, ST, MT. (Dosen Pembimbing II Tugas Akhir)**
- Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

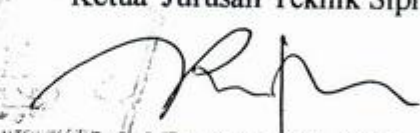
Bersama surat ini kami menghadapkan mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Unissula yang telah memenuhi syarat untuk mengerjakan Tugas Akhir (TA).

- Nama : Widhy Anggoro
- N I M : 02. 205.2828
- Jurusan : Teknik Sipil
- Nama : Eries Apriliawan
- N I M : 02. 204.2719
- Jurusan : Teknik Sipil

Maka dengan ini kami mohon kepada Bapak / Ibu untuk memberikan Bimbingan Tugas Akhir (TA) kepada mahasiswa yang tersebut diatas.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 18 Pebruari 2010
Ketua Jurusan Teknik Sipil

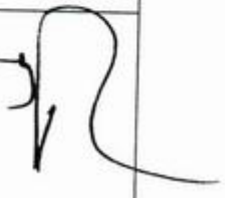
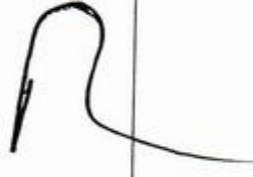

Abdul Rochim, ST, MT
JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNISSULA



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Raya Kaligawe km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719
Nama Mahasiswa : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. H. Pratikso, MST, PhD

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	29/11/10	- Perbaiki latar belakang - Perbaiki metode pembahasan	
2.	14/12/10	- Tambahan sumber tipe P.V.D.	
3.	03/01/11	- Tambahan sumber tipe P.V.D. - Ungkapan	
4.	19/01/11	- Lemparan - daftar pustaka - halaman depan dan	

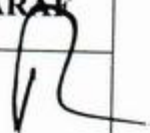


YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Raya Kaligawe km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719
Nama Mahasiswa : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828
Dosen Pembimbing I : Prof. Ir. H. Pratikso, MST, PhD

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
	24/01/11	Cek hasil pengerjaan	
	07-102/11	Bisa dipertanggungjawabkan Acc	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Raya Kaligawe km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719

Nama Mahasiswa : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828

Dosen Pembimbing II : Abdul Rochim, ST, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
01	Rabu, 19 Mei 2010	- Perbaiki pembatasan masalah - Pada tujuan penelitian → tambahkan lama waktu penurunan - Pada tinjauan pustaka belum ada rumus: a) penurunan konsolidasi b) waktu penurunan c) rumus PVD - pada uraian metode penelitian tidak sesuai dengan alur penelitian - perbaiki salah ketik di mana-mana	
02	Jumat 21 Mei 2010	• Perbaiki metode penelitian - PR: MC itu apa?	
03	Selasa 26 Mei 2010	• Laporan bisa mulai disusun • pelajari PLAXIS • Lihat literatur (referensi yang sesuai)	
04	Senin 28 Mei 2010	• Rumus Ce - Lihat di referensi? • Perbaiki hitungan po setiap lapis	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Raya Kaligawe km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719
Nama Mahasiswa : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828
Dosen Pembimbing II : Abdul Rochim, ST, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
05	8 JULI 2010	• Rumus 2.11 - ? • $C_c = 0,0115 W_n$ - Menurut siapa? • Δp (tambahan beban timbunan) pada setiap lapisan tanah bisa berbeda-beda. Limit metode bearing. • Sebelum perhitungan penurunan gambar dahulu pelapisan tanahnya beserta parameter tanah yang digunakan & perhitungan	
06	15 JULI 2010	• $H \rightarrow$ tinggi per lapis • Buat timbunan 3, 4, 5 dan 6 m	
07	16 JULI 2010	• Koreksi $p_0' = h \times (s_{at} - s_w)$ • Lanjutkan untuk penurunan segera	
08	02 AGT 2010	• Untuk lapisan tanah yg kompresibel adalah tanah dgn nilai $N-SPT \leq 15$. • Sehingga untuk perhitungan waktu penurunan, kedalamannya hanya sampai tanah dgn $N-SPT \leq 15$.	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Raya Kaligawe km.4 Telp. (024) 6582455 Ext. 507 Semarang 50112

LEMBAR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719
Nama Mahasiswa : Widhy Anggoro Nim : 02.205.2828
Dosen Pembimbing II : Abdul Rochim, ST, MT

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
09	16 AGT 2010	• Pelajari Staged construction • Hitung C_1 C_2 C_3 } gain strength	
10	18 AGT 2010	$E_1 = E_0 + 0,22 \Delta T_1$ } kibun tahanan $E_2 = C_1 + 0,22 \Delta T_2$ $E_3 = E_2 + 0,22 \Delta T_3$	
11	05 OKT 2010	• Pada PLAXIS: 1. Properti tanah tahanan dibuat sama semua 2. Pasang Gording di sisi kiri-kanan tanah dasar 3. Pelajari Plaxis & kondisi	
12	29 NOV 2010	Bisa maju ke Pembimbing I	



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Telp.(024) 6583584 Ext.507 Fax.(024) 66582455 Semarang 50112

BERITA ACARA SEMINAR TUGAS AKHIR

Nomor : / A.1 / SA - T / /

Pada hari iniJum'at.....Tanggal ..18.....Bulan..Februari.....Tahun..2011.....telah
dilaksanakan Seminar Tugas Akhir, dengan peserta sebagai berikut :

1 Nama : Eries Apriliawan Nim : 02.204.2719

2 Nama : Widhy Anggoro Nim : 02.205.288

Judul TA : : ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI TANAH
: DISPOSAL AREA KALI SEMARANG
:

Dengan Hasil : Baik
:

Demikian Berita Acara Seminar Tugas Akhir ini dibuat untuk diketahui dan penggunaan seperlunya.

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pembimbing


Prof. H. H. Pratitsa, M.T, Phd.


Abdul Rochim, ST, MT


Rifqi Barliani, ST, MT.

Mengetahui ,
Ketua Jurusan



DAFTAR HADIR
SEMINAR TUGAS AKHIR
MAHASISWA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG

Hari

Tanggal

Tempat

: Jumat

: 18 - february 2011

: Ruang seminar T. sipil

NO	NAMA	NIM.	TANDA TANGAN
1	Jati Nugroho	02.205.2804	1
2	Dedi kurniawan	02.205.2787	2
3	Amrul Helayat	02.205.2777	3
4	Affif Muzam Kh	02.205.2770	4
5	Bandhiono Dwa P.	02.205.2784	5
6	Arief candro W.	01.204.2848	6
7	Efri Noer A.	02.206.2845	7
8	Wahyu Anang H	02.206.2866	8
9	Fadli Maula Y.	02.205.2798	9
10	Miaa shani	02.205.2809	10
11	Perdana Army W	02.206.2861	11
12	Duri aulan	02.205.2790	12
13	Achad Zoi Mulyana	02.206.2804	13
14	Ari Santani, ST	0	14
15	Helmy Himawan	02.205.2800	15
16			16
17			17
18			18
19			19
20			20
DOSEN PENGUJI		MENGETAHUI	DOSEN PENGUJI



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Telp.(024) 6583584 Ext.507 Fax.(024) 66582455 Semarang 50112

LEMBAR KOREKSI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / Nim : Eries. Aprilawati 02.204.2719
Hari / Tanggal : Jumat, 18 - 02 - 2011
Judul TA : ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI
TANAH DISPOSAL AREA KALISEMARANG

NO

1

2

3

4

5

6

7



DOSEN PENGUJI



YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG (UNISSULA)
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN SIPIL

Jl. Raya Kaligawe Km.4 Telp.(024) 6583584 Ext.507 Fax.(024) 66582455 Semarang 50112

LEMBAR KOREKSI
SEMINAR TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa / Nim : Widhy Anggoro C02.205.28287
Hari / Tanggal : Jum'at / 18-02-2011
Judul TA : ANALISIS PENURUNAN DAN STABILISASI
TANAH DISPOSAL AREA KAU SEMARANG

NO

1

2

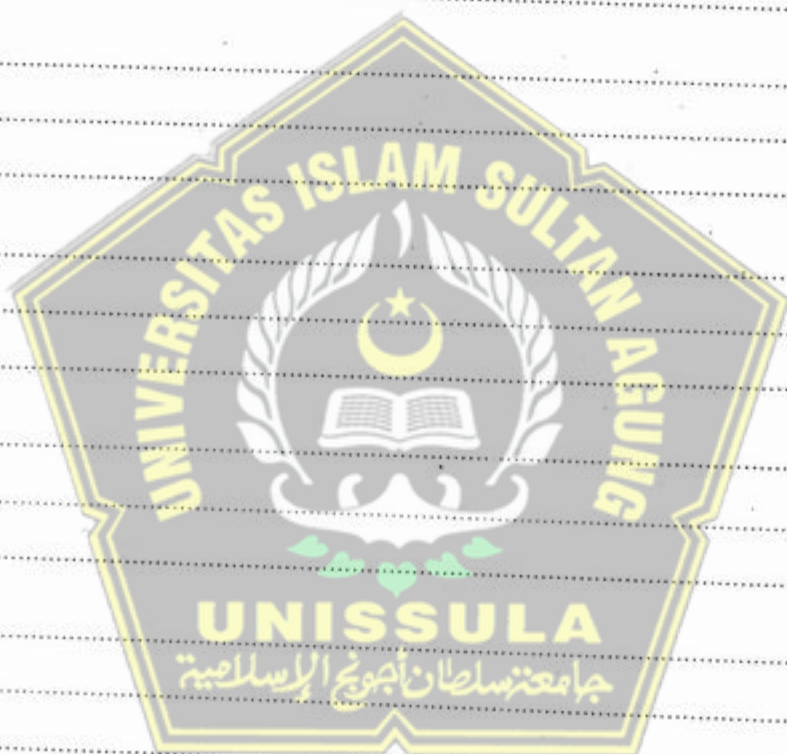
3

4

5

6

7



DOSEN PENGUJI



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

"Bismillah membangun generasi khaira ummah"

Nomor : 02 / A.3 / SA – T / II / 2011
Lampiran : -
Perihal : UNDANGAN

Kepada : Yth:

1. Prof. Ir. H. Pratikso, MST,Ph.D.
2. Abdul Rochim, ST, MT.
3. Rifqi BA, ST, MT.

Dosen Fakultas Teknik Unissula

Assalamu'alaikum Wr Wb.

Mengharap dengan sangat atas kehadiran Bapak / Ibu Pada :

- Hari : Jum'at
- Tanggal : 18 Pebruari 2011
- Jam : 09.00 Wib -- Selesai
- Tempat : Ruang Seminar Fakultas Teknik
- Acara : Seminar Tugas Akhir

Nama : Eries Apriliawan

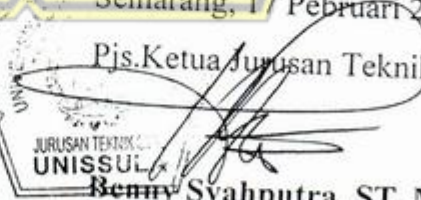
Nama : Widhy Anggoro

Demikian disampaikan atas perhatiannya diucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum Wr Wb.

Semarang, 17 Pebruari 2011

Pjs.Ketua Jurusan Teknik Sipil


JURUSAN TEKNIK SIPIL
UNISSULA
Benny Syahputra, ST, MSi.