TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL (Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung

Disusun Oleh :

Nena Hidayah Umar
NIM : 30201800148

Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800190

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2022

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK
MENGGUNAKAN
GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL
(Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)

Nena Hidayah Umar
NIM : 30201800148

Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800190

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 3 Agustus 2022

Tim Penguji	Tanda Tangan
1. **Prof. Ir. H. Pratikso, MST .,Ph.D.** NIDN: 0627115501	.....
2. **Dra. Nafi'ah, M.Si.** NIDN: 0613055601	.....
3. **Lisa Fitriyana, ST .,M.Eng** NIDN: 0610118101	.....

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

A/N

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

Dipindai dengan CamScanner

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 27 / A.2 / SA-T / II / 2022

Pada hari ini tanggal 3 Agustus 2022 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Prof. Ir. H. Pratikso, MST .,Ph.D.
Jabatan Akademik : Guru Besar

2. Nama : Dra. Nafi'ah, M.Si.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli

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

Nena Hidayah Umar	Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800148	NIM : 30201800190

Judul : ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL. (Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	14 Februari 2022	
2	Seminar Proposal	29 Maret 2022	ACC
3	Pengumpulan data	Maret 2022	
4	Analisis data	Maret - April 2022	
5	Penyusunan laporan	Mei - Juli 2022	
6	Selesai laporan	3 Agustus 2022	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama	Dosen Pembimbing Pendamping
Prof. Ir. H. Pratikso, MST.,Ph.D	Dra. Nafi'ah, M.Si.

Mengetahui,
A/N Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :
NAMA : 1. Nena Hidayah Umar
2. Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 1. 30201800148
2. 30201800190

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :
"ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL (Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)" benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,	Yang membuat pernyataan,
(materai Rp 10.000,-)	(materai Rp 10.000,-)
Nena Hidayah Umar	uliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800148	NIM : 30201800190

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

Dipindai dengan CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA	:	1. Nena Hidayah Umar 2. Yuliatun Huda Dianingsih
NIM	:	NIM : 30201800148 NIM : 30201800190
JUDUL TUGAS AKHIR	:	ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL (Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,	Yang membuat pernyataan,
(materai Rp 10.000,-)	(materai Rp 10.000,-)
Nena Hidayah Umar	Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800148	NIM : 30201800190

Dipindai dengan CamScanner

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ اُمَّةٍ اُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُوْنَ بِالْمَعْرُوْفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُوْنَ بِاللّٰهِ وَلَوْ اٰمَنَ اَهْلُ الْكِتٰبِ لَكَانَ خَيْرًا لَّهُمْ ۗمِنْهُمُ الْمُؤْمِنُوْنَ وَاَكْثَرُهُمُ الْفٰسِقُوْنَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik” (Q.S Ali Imran: 110)

وَلَا تَهِنُوْا وَ لَا تَحْزَنُوْا وَاَنْتُمُ الْاَعْلَوْنَ اِنْ كُنْتُمْ مُّؤْمِنِيْنَ

“Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang beriman.” (Q.S. Ali Imran:139)

فَاِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.” (Q.S. Al-Insyirah: 5)

وَقُلِ اعْمَلُوْا فَسَيَرَى اللّٰهُ عَمَلَكُمْ وَرَسُوْلُهٗ وَالْمُؤْمِنُوْنَۗ وَسَتُرَدُّوْنَ اِلٰى عٰلِمِ الْغَيْبِ وَالشَّهَادَةِ فَيُنَبِّئُكُمْ بِمَا كُنْتُمْ تَعْمَلُوْنَ

“Bekerjalah kamu, maka Allah akan melihat pekerjaanmu, begitu juga Rasul-Nya dan orang-orang mukmin, dan kamu akan dikembalikkan kepada (Allah) Yang Mengetahui yang gaib dan yang nyata, lalu diberitakan-Nya kepada kamu apa yang telah kamu kerjakan.” (Q.S. At-Taubah : 105)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua tercinta, Bapak Moh.Umar dan Ibu Asiyah yang mencintai dan selalu memberikan dukungan motivasi, doa dan pendidikan mental untuk terus mengejar impias menjadi seseorang yang bisa sukses di dunia maupun di akhirat, sehingga saya mendapat kelancaran dalam menyusun Tugas Akhir ini.
2. Dosen-dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan dan membagi ilmu sehingga saya mengerti banyak hal ilmu keteknikan.
3. Karyawan Fakultas Teknik UNISSULA yang telah memberikan fasilitas dan bantuan kelancaran administrasi sehingga saya tetap dapat mengikuti perkuliahan.
4. Yuliatun Huda Dianingsih selaku rekan seperjuangan dan partner Tugas Akhir.
5. R. Giyar Sembodo, ST selaku orang yang saya cintai yang telah menjadi support system dan memberikan dukungan dalam segala hal.
6. Teman-teman KMFT UNISSULA Angkatan 2018.
7. Semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
8. Diri saya sendiri yang sudah mampu bertahan dan berjuang untuk tidak menyerah selama empat tahun dalam menyelesaikan kuliah di Teknik Sipil UNISSULA.

Nena Hidayah Umar
NIM : 30201800148

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga saya bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua tercinta, Bapak Subeki dan Ibu Sriwati yang mencintai dan selalu memberikan dukungan semangat, doa dan materiil kepada saya, sehingga saya mendapat kelancaran dalam menyusun Tugas Akhir ini.
2. Kakak saya tercinta drg. Atika Febrianti yang selalu membantu saya dan menemani saya dalam suka dan duka.
3. Seluruh dosen – dosen dan karyawan Fakultas Teknik UNISSULA yang telah berbagi ilmu serta fasilitas selama pendidikan di Fakultas Teknik UNISSULA.
4. Nena Hidayah Umar selaku rekan seperjuangan dan partner Tugas Akhir.
5. Seluruh teman – teman teknik sipil angkatan 2018 yang telah mensuport.
6. Bapak ibu kost yang sudah berbaik hati menyediakan tempat dan menyediakan wifi.
7. Semua pihak yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.
8. Diri saya sendiri yang sudah mampu bertahan dan berjuang untuk tidak menyerah selama empat tahun dalam menyelesaikan kuliah di Teknik Sipil UNISSULA.

Yuliatun Huda Dianingsih
NIM : 30201800190

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul "ANALISIS PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGGUNAKAN GEOSINTETIK JENIS *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan GEOTEKSTIL (Studi Kasus: Tol Semarang – Demak)" guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT, Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik.
3. Bapak Prof. Ir. H. Pratikso, MST.,Ph.D selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Dra. Nafi'ah, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skrisi ini.
5. Semua Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
LEMBAR PENGESAHAN ..... **ii**
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR ..... **iii**
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN ..... **v**
MOTTO ..... **vi**
PERSEMBAHAN ..... **viii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **x**
DAFTAR TABEL ..... **xiii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xv**
DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI ..... **xvi**
DAFTAR SINGKATAN ..... **xviii**
ABSTRAK ..... **xix**
ABSTRACT ..... **xx**

BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Lingkup Kajian 2
1.3 Identifikasi Masalah 2
1.4 Rumusan Masalah 3
1.5 Maksud dan Tujuan 3
1.6 Sistematika Penulisan 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Tinjauan Umum 5
2.2 Tanah Lunak 6
2.2.1 Pengertian Tanah Lunak 6
2.2.2 Karakteristik Tanah Lunak 7
2.2.3 Penyelidikan Tanah Lunak 9
2.3 Atterberg 10

2.4 Permeabilitas Tanah 11
2.5 Tegangan Efektif 12
2.6 Kuat Geser 13
2.7 Konsolidasi Tanah 13
2.7.1 Pengertian Konsolidasi 13
2.7.2 Indeks Pemampatan (*Compression Index*) 14
2.7.3 Tekanan Prakonsolidasi (Pc') 15
2.7.4 Koefisien Konsolidasi 17
2.7.5 Derajat Konsolidasi 19
2.8 Penurunan Tanah 19
2.8.1 Penurunan Segera (S_i) 20
2.8.2 Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) 23
2.8.3 Penurunan Konsolidasi Sekunder (S_s) 24
2.9 Timbunan Tanah 24
2.9.1 Pengertian Tinggi Timbunan 24
2.9.2 Pemadatan Tanah 24
2.10 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) 24
2.10.1 Penjelasan *Prefabricated Vertical Drain* 26
2.10.2 *Band Drain* 27
2.10.3 *Filter Sleeve* 28
2.10.4 Kekuatan Tarik 29
2.10.5 Diameter Ekivalen *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) 29
2.10.6 Faktor yang Mempengaruhi Percepatan Konsolidasi pada PVD 30
2.10.7 Parameter Tanah untuk Menentukan Waktu Konsolidasi dengan/ Tanpa *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) 38
2.11 *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) 41
2.11.1 Penggunaan *Prefabricated Horizontal Drain* 41
2.11.2 Alternatif *Prefabricated Horizontal Drain* 42
2.12 Geosintetik 44
2.12.1 Pengertian Geosintetik Jenis Geotekstil 44
2.12.2 Fungsi Geosintetik dan Pengaplikasiannya 47
2.12.3 Instrumentasi Geoteknik 48
2.12.4 Daya Bertahan Geosintetik Saat Konstruksi 49
BAB III METODOLOGI PENULISAN 51
3.1 Pendahuluan 51

3.2 Tahap Persiapan 51
3.3 Wilayah Studi 51
3.4 Metode Analisis Data 52
3.3.1 Sumber Data 52
3.3.2 Analisis Data 52
3.5 Bagan Alir (*flowchart*) Tahapan Kajian 53
3.6 Penyusunan Laporan serta Format Penggambaran 54
3.7 Jadwal Pembuatan Tugas Akhir 54
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 55
4.1 Tinjauan Umum 55
4.2 Kondisi Lapisan Tanah 56
4.2.1 Data Tanah 57
4.2.2 Perhitungan Angka Pori dan Hubungan Δe dan ΔH 58
4.2.3 Perhitungan Indeks Pemampatan (Cc) Untuk Tanah Lempung 59
4.2.4 Perhitungan Tegangan Efektif 59
4.2.5 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 60
4.2.6 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) 65
4.2.7 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 66
4.2.8 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 71
4.2.9 Menentukan Waktu Penurunan Tanpa PVD 74
4.2.10 Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segitiga 79
4.2.11 Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segi Empat 85
4.2.12 Perencanaan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) 90
4.3 Hasil Perhitungan 92
BAB V PENUTUP 95
PENUTUP 95
5.1 Kesimpulan 95
5.2 Saran 96

DAFTAR PUSTAKA xxi
LAMPIRAN xxiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak 6
Tabel 2.2 Indikator Kuat Geser tak Terdrainase Tanah -tanah Lempung Lunak....6
Tabel 2.3 Hubungan Konsistensi, Indentifikasi dan Kuat Geser Tekan Bebas (qu).....8
Tabel 2.4 Hubungan Antar Konsistensi Dengan Tekanan Konus.....8
Tabel 2.5 Hubungan Antara Kepadatan, Relative Density, Nilai N,qc Dan Ø 9
Tabel 2.6 Hubungan Antara Indeks Plastis Dengan Tingkat Plastisitas Dan Jenis Tanah Menurut Atterberg 11
Tabel 2.7 Syarat Derajat Daya Bertahan (*Survivability*).....50
Tabel 2.8 Persyaratan Kekuatan Geotekstil.....50
Tabel 3.1 Jadwal Pembuatan Tugas Akhir Tahun 2022.....54
Tabel 4.1 Data Penurunan Tanah di Wilayah Semarang dan Sekitarnya (Termasuk wilayah Kendal dan Demak).....55
Tabel 4.2 Data Sekunder Tanah 58
Tabel 4.3 Perhitungan Angka Pori dan Indeks Pemampatan 59
Tabel 4.4 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 2m....61
Tabel 4.5 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 4m....62
Tabel 4.6 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 6m....63
Tabel 4.7 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 8m....64
Tabel 4.8 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 10m..65
Tabel 4.9 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 65
Tabel 4.10 Perhitungan Tegangan Efektif dan Penurunan Konsolidasi Primer....66
Tabel 4.11 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana Timbunan 2m 67
Tabel 4.12 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana Timbunan 4m 68
Tabel 4.13 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana Timbunan 6m 69
Tabel 4.14 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana Timbunan 8m 70
Tabel 4.15 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana

Timbunan 10m 71
Tabel 4.16 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc) dengan Rencana Timbunan 71
Tabel 4.17 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 2m 72
Tabel 4.18 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 4m 72
Tabel 4.19 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 6m 72
Tabel 4.20 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 8m 73
Tabel 4.21 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 10m ..73
Tabel 4.22 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan 74
Tabel 4.23 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 2m 76
Tabel 4.24 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 4m 76
Tabel 4.25 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 6m 77
Tabel 4.26 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 8m 78
Tabel 4.27 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 10m 78
Tabel 4.28 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 0,9 m 83
Tabel 4.29 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1 m 83
Tabel 4.30 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,2 m 84
Tabel 4.31 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,4 m 84
Tabel 4.32 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,6 m 84
Tabel 4.33 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 0,9 m 88
Tabel 4.34 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1 m 89
Tabel 4.35 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,2 m 89
Tabel 4.36 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,4 m 89
Tabel 4.37 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,6 m 90
Tabel 4.38 Hasil Perhitungan Tanpa Menggunakan PVD untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%.....92
Tabel 4.39 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan PVD untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%.....93
Tabel 4.40 Hasil Perbandingan Penurunan Tanpa PVD dan Dengan PVD 93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Batas – Batas Atterberg …. 10
Gambar 2.2 Hubungan Pemampatan dan Waktu pada ahapan Konsolidasi.....14
Gambar 2.3 Indeks Pemampatan 15
Gambar 2.4 Grafik e – log p'.....15
Gambar 2.5 Penurunan Konsolidasi 16
Gambar 2.6 Cara menentukam C_v dengan Metode Kococokan Log – waktu 18
Gambar 2.7 Cara menentukan C_v dengan Metode Akar Waktu 18
Gambar 2.8 Grafik *Influence factor* 22
Gambar 2.9 Pemilihan Metode Perbaikan Tanah Berdasarkan Kriteria Tanah ...25
Gambar 2.10 Pemilihan Metode Perbaikan Tanah.....25
Gambar 2.11 Jalur Drainase Selama Proses Konsolidasi Tanpa PVD.....26
Gambar 2.12 Jalur Drainase Selama Proses Konsolidasi Dengan PVD.....26
Gambar 2.13 Grafik Perbandingan Perbaikan Tanah Lunak Dengan Atau Tanpa PVD 27
Gambar 2.14 Bagian - bagian PVD 27
Gambar 2.15 Diameter Equivalen (d_w) untuk *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.....30
Gambar 2.16 Pola PVD (Kiri pola persegi, kanan pola segitiga).....31
Gambar 2.17 Tipikal Pola Pemasangan PVD.....31
Gambar 2.18 Transformasi Penampang Diameter Setara PVD 33
Gambar 2.19 Prediksi Zona Pengaruh di Sekitar Mandrel.....35
Gambar 2.20 *Smear Effect*.....36
Gambar 2.21 Skema PVD dengan Zona *Smear* dan Ketahanan Tanah yang Baik.....36
Gambar 2.22 Proses konsolidasi tanpa *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.....38
Gambar 2.23 Fungsi *Prefabricated Horizontal Drain* 41
Gambar 2.24 Alternatif PHD ke1.....42
Gambar 2.25 Alternatif PHD ke 2.....43
Gambar 2.26 Alternatif PHD ke 3.....43
Gambar 2.27 Alternatif PHD ke 4.....43
Gambar 2.28 Alternatif PHD ke 5.....44
Gambar 2.29 Penggunaan PHD.....44
Gambar 2.30 Geotekstil *woven*.....46
Gambar 2.31 Geotekstil *Non Woven* 47
Gambar 2.32 Klasifikasi Geosintetik.....47
Gambar 3.1 Lokasi Proyek Tol Semarang-Demak.....52
Gambar 3.2 Bagan Alir Tahapan Kajian 53
Gambar 4.1 Peta Geologi Tol Semarang-Demak 56
Gambar 4.2 Peta Atlas Wilayah Jawa Tengah 57

Gambar 4.3 Lokasi Pengebolan dan SPT 57
Gambar 4.4 Gambar Existing Lokasi Pekerjaan 58
Gambar 4.5 Grafik Penurunan Tanah dengan Rencana Timbunan 74

DAFTAR LAMBANG DAN NOTASI

q	[cm^3]	Volume aliran air per satuan waktu
A	[cm^2]	Luas penampang tanah yang dilewati air
k	[cm/dt]	Koefisien permeabilitas
v	[cm/dt]	Kecepatan aliran
σ	[kN/m^2]	Tegangan normal total
σ’	[kN/m^2]	Tegangan normal efektif
u	[kN/m^2]	Tekanan pori
Po	[gr/cm^2]	Tegangan *overbuden*
γ'	[kN/m^2]	Muka air tanah jenuh
H	[m]	Tebal lapisan tanah
τ	[kPa]	Kekuatan geser yang dibutuhkan sampai keruntuhan
c	[kPa]	Kohesi tanah
σn	[kPa]	Tekanan normal tegak lurus bidang keruntuhan
ϕ	[^{o}]	Sudut friksi internal partikel
C_r	[-]	Indeks pemampatan kembali
C_c	[-]	Indeks pemampatan
P_c’	[kN/m^2]	Tekanan prakonsolidasi
e_0	[-]	Angka pori awal
ΔP	[-]	Tambahan tegangan akibat beban pondasi
C_h	[m^2/hari]	Koefisien horizontal
ΔH	[m]	Perubahan tinggi
Δe	[-]	Perubahan angka pori
C_v	[cm^2/detik]	Koefisien konsolidasi
t	[s]	Waktu
T_v	[-]	*Time factor*
S_t	[m]	Penurunan total
S_i	[m]	Penurunan segera
S_c	[m]	Penurunan akibat konsolidasi primer
C	[gr/cm^2]	Angka pemampatan
q_c	[kg/cm^2]	Tahanan kerucut statis

q_n	[kN/m^2]	Tekanan pondasi netto
B	[m]	Lebar pondasi
I_z	[-]	Faktor pengaruh regangan lateral
E	[kN/m^2]	Modulus elastisitas tanah
Δz	[m]	Ketebalan lapisan tanah
σ_v'	[kN/m^2]	Tegangan efektif pada kedalaman I_{zp}
n_d	[-]	*Void area*
n_s	[-]	Porositas *sand drain*
D	[m]	Diameter Pengaruh
d	[-]	Dimensi PVD
s	[m]	Spasi antar PVD
U_v	[%]	Derajat konsolidasi
d_w	[m]	Diameter PVD
F(n)	[-]	Faktor akibat jarak antar *Prefabricated Vertical Drain*
d_s	[m]	Diameter *Smear Zone*
d_m	[m]	Diameter Mandrel
W	[m]	Lebar Mandrel
L	[m]	Panjang Mandrel
k_h	[-]	Koefien permeabilitas arah horizontal
q_w	[m^3/s]	Kapasitas tampung PVD
l_m	[m]	Kedalaman PVD
H_{dr}	[m]	Tebal lapisan tanah lunak/Panjang PVD
U_h	[%]	Derajat konsolidasi horizontal
U	[%]	Derajat konsolidasi
A_e	[m^2]	Estimasi debit air per 1 titik PVD

DAFTAR SINGKATAN

CPT = *Cone Penetration Test*

PVD = *Prefabricated Vertical Drain*

PHD = *Prefabricated Horizontal Drain*

SPT = *Standart Penetration Test*

CBR = *California Bearing Test*

ASTM = *American Society for Testing and Materials*

PI = *Plasticity Index*

AASHTO = *American Association of State Highway and Transportation Officials*

UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
UNISSULA
جامعة سلطان أجونج الإسلامية

ABSTRAK

Nena Hidayah Umar[1)], Yuliatun Huda Dianingsih[1)], Pratikso[2)], Nafi'ah[2)]

Karakteristik tanah yang dilalui pembangunan ruas Tol Semarang – Demak didominan lunak. Tanah lunak mempunyai daya dukung rendah dan mengakibatkan penurunan tanah yang besar sebab beban yang ditopangnya. Proses konsolidasi tanah lunak membutuhkan waktu yang lama, sehingga perlu perbaikan tanah untuk mempercepat proses konsolidasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi tanpa menggunakan dan menggunakan PVD, PHD, dan Geotekstil.

Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan metode persamaan Terzaghi. Derajat Konsolidasi yang ditargetkan adalah saat mencapai derajat konsolidasi 90%. Analisis pola dan jarak antar PVD dihitung untuk mendapatkan pola dan jarak yang paling efektif untuk digunakan.

Kedalaman PVD yang digunakan dalam perencanaan sedalam 23,55 m dengan tinggi timbunan 10 m. Besar penurunan tanah tanpa menggunakan PVD sebesar 2,102 m dengan waktu 2600 hari, sedangkan besar penurunan tanah menggunakan PVD sebesar 2,101 m dengan waktu 42 hari menggunakan pola segitiga dan jarak terdekat yaitu 0,9 m. Berdasarkan hasil perhitungan PVD dengan pola segitiga, maka setiap 1 ujung PVD mengeluarkan air seluas 0,701 m^2 dengan panjang lajur PHD maksimum 70,717 m menghasilkan estimasi debit air horizontal sebesar 0,000064 m^3/s.

Kata Kunci : *Konsolidasi; Penurunan tanah; PHD; PVD*

[1)]Mahasiswa Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA
[2)]Dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA

ABSTRACT

Nena Hidayah Umar[1)], Yuliatun Huda Dianingsih[1)], Pratikso[2)], Nafi'ah[2)]

The characteristics of the soil through which the construction of the Semarang ï Demak toll road section is predominantly soft. Soft soil has a low bearing capacity and results in large soil settlement due to the load it supports. The consolidation process of soft soil takes a long time, so it is necessary to improve the soil to speed up the consolidation process. The purpose of this study was to determine the time and magnitude of soil subsidence due to consolidation without using and using PVD, PHD, and Geotextiles.

In this study, soil improvement was carried out using geosynthetic types of Prefabricated Vertical Drain (PVD), Prefabricated Horizontal Drain (PHD), and geotextiles. Calculation of consolidation settlement using the Terzaghi equation method. The targeted Consolidation Degree is when it reaches the 90% consolidation degree. Analysis of patterns and distances between PVDôs was calculated to get the most effective pattern and distance to use.

The depth of PVD is used in the planning as deep as 23.55 m with an embankment height of 10 m. The amount of land subsidence without using PVD is 2.102 m with a time of 2600 days, while the amount of land subsidence using PVD is 2.101 m with a time of 42 days using a triangle pattern and the closest distance is 0.9 m. Based on the results of PVD calculations with a triangular pattern, every 1 end of the PVD discharges water with an area of 0.701 m^2 with a maximum PHD line length of 70.717 m resulting in an estimated horizontal water discharge of 0,000064 *m^3/s.*

***Keywords** : Consolidation; Land subsidence; PHD; PVD*

1)Students of Civil Engineering Faculty UNISSULA
2) Lecturer of Civil Engineering Faculty UNISSULA

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan tol merupakan salah satu infrastruktur yang dibutuhkan di Indonesia untuk membantu pertumbuhan lalu lintas regional dan mendorong distribusi produk dan jasa dalam mendukung ekspansi ekonomi.

Menurut Perpres 109 Tahun 2020, Jalan Tol Semarang - Demak merupakan Proyek Strategis Nasional sepanjang 27 kilometer. Pengurangan lalu lintas di sepanjang garis pantai Semarang-Demak dan pencegahan banjir rob di sepanjang pantai utara adalah dua tujuan dari Tol Semarang-Demak, yang menghubungkan Kota Semarang dan Kabupaten Demak dan memiliki tanggul laut penahan pasang surut.

Seksi 2 Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak mulai dibangun pada Desember 2019, melewati Kabupaten Genuk, Sayung, Karang Tengah, Wonosalam, dan Demak (PT. PP, 2019). Jalan Tol Semarang – Demak dilaksanakan dalam dua seksi: seksi 1 (STA 0 + 000 – 10 + 960) Semarang – Sayung dan seksi 2 (STA 10 + 690 – 27 + 000) Sayung – Demak (Ranty, dkk, 2021).

Tanah mempunyai peran penting pada suatu pekerjaan konstruski sebab semua konstruksi melekat pada tanah serta ditopang oleh tanah. Tanah mempunyai jenis yang berbeda - beda. Jenis tanah pada satu wilayah tidak sama dengan jenis tanah pada wilayah yang lain termasuk di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh komponen pembentuk tanah pada wilayah tersebut. di wilayah Jawa, terutama daerah pantai utara Jawa yang mempunyai jenis tanah yang lunak. Karena tanah lunak memiliki daya dukung yang terbatas dan menyebabkan tanah tenggelam karena berat yang dibawanya, tidak diragukan lagi ini menghadirkan tantangan yang signifikan untuk proyek pembangunan.

Semarang, Indonesia, beriklim basah, dengan curah hujan rata-rata tahunan 2.780 mm, tekstur tanah sedimen (aluvial), dan ketinggian mulai dari -2 meter di bawah permukaan laut hingga +340 meter di atas permukaan laut (Soedarsono,

2012). Kabupaten Demak memiliki sudut kemiringan rata-rata datar dan sudut elevasi (ketinggian di atas permukaan laut) nol sampai dengan seratus meter; jenis tanah yang ditemukan ada tanah halus (lanau) dan tanah sedang (lempung). Kabupaten Demak juga dicirikan oleh iklim hujan, menerima rata-rata antara 1.800 dan 2.400 mm curah hujan setiap tahun (Jun, 2008). Kota Semarang dan Kabupaten Demak mengalami penurunan dengan kecepatan 4-10 cm per tahun karena penyebab ini.

Jalan tol antara Semarang dan Demak sebagian besar melewati tanah lunak. Hasil *Cone Penetration Test* (CPT) menunjukkan bahwa kedalaman tanah keras lebih besar dari 10 meter di bawah tanah. Perbaikan tanah dengan tipe Geosintetik *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan Geotekstil diperlukan untuk Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak, seperti dijelaskan di atas.

1.2 Lingkup Kajian

Berikut ini menjelaskan ruang lingkup studi dalam terang konteks sebelumnya:

1. Perbaikan tanah lunak menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan Geotekstil
2. Perencanaan penurunan tanah akibat penurunan konsolidasi dan penurunan segera
3. Perencanaan waktu terjadinya konsolidasi
4. Beban struktur di tentukan dalam perencanaan oleh PT. PP (PERSERO) Tbk
5. Penentuan besar nilai parameter tanah dari rata-rata data sekunder dari PT. PP (PERSERO) Tbk

1.3 Identifikasi Masalah

Mengingat konteks dan ruang lingkup penyelidikan tersebut di atas, masalah-masalah berikut dapat dikenali:

1. Tanah lunak memiliki daya dukung tanah yang buruk, penurunan tanah yang signifikan, dan durasi yang lama karena kandungan air dan udara yang tinggi serta ruang pori yang besar.
2. Proses pengurangan volume tanah secara bertahap dan permeabilitasnya yang buruk mengakibatkan terjadinya proses konsolidasi dimana air terhimpit dan mengisi pori-pori tanah akibat beban kerja.
3. Perlu perbaikan perkuatan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukungnya agar tidak terjadi kelongsoran tanah pada konstruksi dan struktur di atasnya yang dapat menyebabkan kerusakan struktur.
4. Penggunaan pola serta jarak yang efektif terhadap lama waktu serta perencanaan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dan geotekstil.
5. Menganalisis stabilitas tanah untuk mengurangi dampak dari penurunan.

1.4 Rumusan Masalah

Dari penjelasan sebelumnya, masalah dapat dinyatakan sebagai:

1. Apakah dibutuhkan perencanaan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prafebricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.
2. Bagaimana pengaruh waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi tanpa geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.
3. Bagaimana pengaruh waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.

1.5 Maksud dan Tujuan

Berikut ini adalah beberapa tujuan dan sasaran yang telah saya tetapkan untuk dicapai selama membuat Tugas Akhir ini:

1. Menganalisis perlunya dilakukan perencanaan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prafebricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.
2. Mengetahui pengaruh waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi tanpa menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.
3. Mengetahui pengaruh waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistem penulisan yang hemat waktu ini dimaksudkan untuk memandu dan mengontrol penulisan Laporan Tugas Akhir. Ini adalah garis besar untuk struktur prnulisan:

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini meliputi konteks, identifikasi masalah, rumusan masalah, maksud dan tujuan, serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan pembahasan teori yang berkaitan dengan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geotekstil yang ditinjau berdasarkan literatur, hasil pengamatan dan pendapat para ahli untuk suatu kasus yang sama.

BAB III : METODOLOGI PENULISAN

Bab ini membahas tinjauan pustaka, pengumpulan data, dan analisis data dengan menganalisis kembali data yang telah dikumpulkan sebelumnya.

BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang perhitungan manual yang digunakan untuk menentukan besarnya penurunan dan lamanya proses konsolidasi pada tanah, serta tata cara pengolahan datanya.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil analisis

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Tanah terdiri dari agregat mineral (butiran) bahan organik lapuk dengan partikel padat disertai cairan dan gas yang menempati ruang antara partikel padat dan tidak terikat secara kimia (tidak disemen) (Das, 1995). Menurut K. Terzaghi, tanah tersusun dari butir-butir bahan yang berasal dari pelapukan formasi batuan raksasa, dimana ukuran butirnya bisa sebesar *boulder*, *skeleton*, *gravel*, pasir, lanau, dan lempung, dan butir-butir kontaknya tidak disemen dan termasuk kandungan organik.

Semua struktur terkait dengan tanah dan ditopang oleh tanah, tanah memainkan peran penting dalam membangun. Tanah digunakan untuk menopang bangunan atas di bidang teknik sipil. Untuk mencegah kerusakan bangunan, tanah harus dalam kondisi stabil dan tidak mengalami penurunan yang curam. Peranan tanah sebagai penopang pondasi bangunan menuntut kondisi tanah yang stabil, oleh karena itu, jika ada kualitas tanah yang kurang mampu menopang bangunan, maka harus diperbaiki sebelum daya dukung tanah yang diinginkan dapat dicapai. Diharapkan bahwa struktur yang tersisa setelah itu tidak akan terganggu oleh penurunan tanah yang tidak merata atau tanah longsor.

Pembangunan ruas jalan tol Semarang – Demak bercirikan fitur tanah lunak. Sebelum membangun suatu struktur, tanah harus ditingkatkan kekuatan dan kekakuannya. Penguatan tanah sangat penting untuk meningkatkan kekuatan dan daya dukungnya agar tidak terjadi kelongsoran tanah pada konstruksi dan struktur di atasnya, yang dapat menyebabkan kerusakan struktur. Perbaikan tanah lunak pada Pembangunan Tol Semarang – Demak menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan Geotekstil.

2.2 Tanah Lunak

2.2.1 Pengertian Tanah Lunak

Tanah lunak memiliki nilai kompresibilitas yang tinggi, seringkali tersusun dari lempung Holosen (10.000 tahun), dan terbentuk secara alami melalui proses pengendapan di dataran aluvial pesisir, sungai, danau, dan rawa (Wardoyo et al., 2019). Tanah lunak merupakan tanah berstabilitas rendah yang menimbulkan deposisi cukup besar saat dibebani (Tyagita et al, 2019).

Nilai Standart Penetrasi Test (SPT) untuk tanah lunak kurang dari 4. (Crosita, 2018). Tanah lempung merupakan tanah berbutir halus berukuran 2 sampai 5 milimeter (Mochtar, 1988).

Tanah lunak memiliki gaya geser yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan koefisien permeabilitas yang rendah. Jika tanah lunak dikenai beban melebihi daya dukung kritisnya untuk jangka waktu yang lama, celah antara partikel tanah akan terjepit dan penurunan tanah akan meningkat. Menurut **Tabel 2.1**, dalam rekayasa geoteknik, istilah "Lembut" dan "Sangat Lunak" dicadangkan untuk lempung dengan kekuatan geser rendah.

Tabel 2.1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

Konsistensi	Kuat Geser (kN/m^2)
Lunak	12,5 – 25
Sangat Lunak	< 12,5

(Sumber: Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B)

Bentuk lempung lunak ini terbuat dari mineral lempung dan memiliki kadar air yang tinggi sehingga menghasilkan kuat geser yang rendah. **Tabel 2.2** menyajikan kekuatan tarik relatif dari beberapa lempung:

Tabel 2.2 Indikator Kuat Geser tak Terdrainase Tanah – tanah Lempung Lunak

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

(Sumber: Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B)

2.2.2 Karakteristik Tanah Lunak

Nilai plastisitas tinggi terdapat pada tanah lunak meskipun gaya gesernya kecil, kompresibilitasnya tinggi, dan koefisien permeabilitasnya rendah. Tanah lunak juga memiliki kompresibilitas yang besar. Nilai koefisien permeabilitas yang rendah membuat periode konsolidasi tanah lunak jauh lebih lama dari yang seharusnya.

Sebagian besar tanah lunak memiliki sifat-sifat berikut, seperti yang dijelaskan oleh Suyono (1984):

1. Permeabilitas tinggi;
2. Gaya gesernya kecil;
3. Kemampatan yang besar;
4. Tanah lunak memiliki nilai kompresibilitas yang tinggi. Kompresibilitas ditentukan sebagian oleh rasio rongga tanah, maka tanah lunak cenderung sangat kompresibel.

Kadar airnya yang tinggi membuat tanah lunak menjadi sangat lemah dan menyebabkan masalah besar dengan penurunan sebelum, selama, dan setelah pembangunan. Hal ini dikarenakan tanah lunak cenderung memiliki kecenderungan lebih tinggi untuk menyerap air. Jumlah kelembaban yang terkandung dalam tanah lunak dapat berubah berdasarkan sejauh mana fleksibilitas dan strukturnya telah meningkat. Persentase air yang terkandung dalam tanah lunak mungkin berpengaruh (Holtz, 1956).

Berikut adalah hubungan konsistensi, identifikasi dan kuat geser tekan bebas (qu) pada **Tabel 2.3,** hubungan antar konsistensi dengan tekanan konus yang ditunjukan pada **Tabel 2.4**, hubungan antara kepadatan, *relative density*, nilai N, qc dan Ø yang ditunjukkan pada **Tabel 2.5**.

Tabel 2.3 Hubungan Konsistensi, Identifikasi dan Kuat Geser Tekan Bebas (qu)

Konsistensi Tanah	**Identifikasi Di Lapangan**	**Qu (kg/cm^2)**
Very Soft	Dengan mudah ditembus beberapa inchi dengan kepalan tangan	<0,25
Soft	Dengan mudah ditembus beberapa inchi dengan ibu jari	0,25-0,50
Medium Stiff	Dapat ditembus beberapa inchi pada kekuatan sedang dengan ibu jari	0,50-1,00
Stiff	Melekuk bila ditekan dengan ibu jari	1,00-2,00
Very Stiff	Melekuk bila ditekan dengan ibu jari tetapi dengan kekuatan besar	2,00-4,00
Hard	Dengan kesulitan, melekuk bila ditekan dengan ibu jari	>4,00

(Sumber: Sosrodarsono and Nakazawa, 1983)

Hubungan antara konsistensi dan tekanan kerucut, serta *undrained cohesion* dari **Tabel 2.4** adalah jika semakin rendah nilai tekanan konus qc dengan *undrained cohesion* maka konsistensi tanah bersifat sangat lunak. Sedangan semakin tinggi tekanan konus qc dengan *undrained cohesion* maka semakin keras konsistensi tanah tersebut.

Tabel 2.4 Hubungan Antar Konsistensi Dengan Tekanan Konus

Konsistensi Tanah	Tekanan Konus qc (kg/cm^2)	*Undrained Cohesion* (T/m^2)
Very Soft	< 2,50	< 1,25
Soft	2,50 – 5,0	1,25 – 2,50
Medium Stiff	5,0 – 10,0	2,50 – 5,0
Stiff	10,0 – 20,0	5,0 – 10,0
Very Stiff	20,0 – 40,0	10,0 – 20,0
Hard	> 40,0	> 20,0

(Sumber: Begemann, 1965)

Dapat dilihat pula pada **Tabel 2.5** hubungan antara kepadatan, *Relative Density*, Nilai N, qc Dan Ø, jika semakin tinggi angka tersebut maka semakin padat tanah tersebut.

Tabel 2.5 Hubungan Antara Kepadatan, *Relative Density*, Nilai N, qc Dan Ø

Kepadatan	*Relative Density* (Dr)	Nilai N	Tekanan Konus qc (kg/cm^2)	Sudut Geser Dalam ($Ø^0$)
Very Loose	< 0,2	< 4	< 20	< 30
Loose	0,2 – 0,4	4 – 10	20 – 40	30 – 35
Medium Dense	0,4 – 0,6	10 – 30	40 – 120	35 – 40
Dense	0,6 – 0,8	30 – 50	120 – 200	40 – 45
Very Dense	0,8 – 1,0	> 50	> 200	> 45

(Sumber: Begemann, 1965)

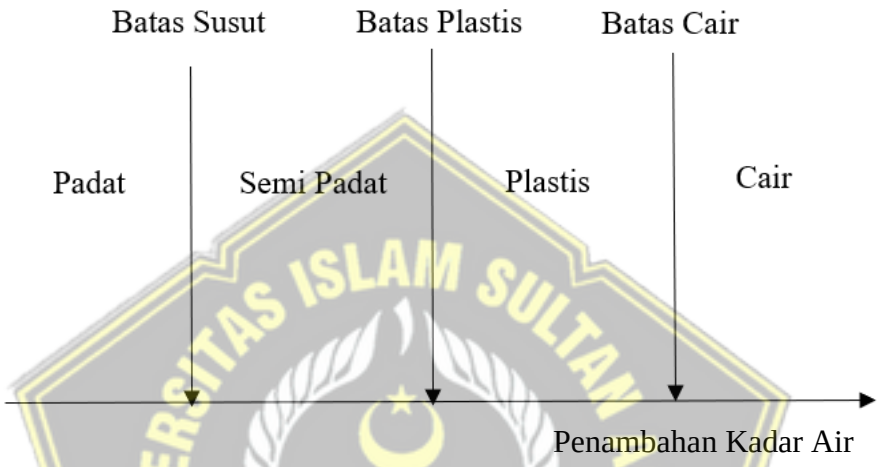
2.2.3 Penyelidikan Tanah Lunak

Tujuan dari studi tanah adalah untuk mengumpulkan informasi teknis tentang lokasi untuk mengembangkan struktur yang aman dan hemat biaya. Hasil uji lapangan dan uji laboratorium digunakan untuk mengembangkan data teknis. Tujuan dari pengujian lapangan adalah untuk mengumpulkan data yang dapat digunakan dalam desain dan untuk keperluan pelaksanaan konstruksi. Pengeboran tanah (*boring*), pengujian sondir dengan *Cone Penetration Test* (CPT), *California Bearing Test* (CBR), dan *Vane Shear Test* merupakan contoh uji lapangan. Uji laboratorium dilakukan dengan mengumpulkan contoh tanah dari lapangan pada kedalaman tertentu. Sampel-sampel ini kemudian dibawa kembali ke laboratorium, di mana karakteristik fisik tanah dan jenis deformasinya dianalisis. Uji sifat tanah, uji ukuran butir, dan uji geser langsung merupakan contoh dari pemeriksaan laboratorium yang mungkin dilakukan.

Pengeboran tanah (*boring*) dan pengujian sondir (CPT) adalah penyelidikan tanah yang paling umum dan dapat diandalkan untuk uji tanah liat dalam survei lapangan geoteknik. Boring (pengeboran uji) dapat dilakukan dengan menggunakan bor mekanis atau dengan tangan. Salah satu uji lapangan yang digunakan untuk mengevaluasi profil atau daya dukung lapisan tanah adalah uji sondir (uji tekan-tarik).

2.3 Atterberg

Uji batas cair dan uji batas plastis membentuk apa yang dikenal sebagai uji batas Atterberg. Dalam kebanyakan kasus, batasan Atterberg dikomunikasikan dalam bentuk indeks konsistensi atau batas kadar air. Batas-batas ini disebut sebagai Batas Penyusutan, Batas Plastik, dan Batas Cairan, masing-masing. Nilai plastisitas tanah lunak cukup tinggi. Banyak keadaan di mana batasan konsistensi untuk tanah kohesif dapat ditemukan ditunjukkan dalam **Gambar 2.1**



Gambar 2.1 Batas – Batas Atterberg (Das,1993)

Batas Cair, sering dikenal sebagai LL, mengacu pada jumlah air yang ada pada titik di mana kondisi cair dan plastik bertemu (ASTM D 4318). Dalam keadaan ini, partikel-partikel tanah menyebar, dan karena lebih sedikit air di dalam tanah, volume air juga lebih sedikit. Kekuatan geser tanah buruk bila memiliki jumlah kandungan air ini. Batas plastis, sering dikenal sebagai PL, mengacu pada jumlah air yang ada pada titik pertemuan fase semi-padat dan plastis (ASTM D 4318). Plastisitas tanah dievaluasi dengan menggulung sampel di telapak tangan Anda dan berhenti ketika diameternya kurang dari tiga milimeter.

Jika Anda mengambil batas plastis tanah dan mengurangi batas cairnya, Anda mendapatkan indeks plastisitas. Plastisitas tanah dapat dievaluasi dengan menggunakan indeks plastisitas. Jika IP tanah tinggi, hal ini dapat diartikan bahwa tanah tersebut mengandung butiran lempung dalam jumlah yang signifikan. Di sisi lain, jika tanah memiliki IP rendah, mungkin menunjukkan bahwa ada sedikit penurunan kadar air tanah, yang menyebabkan tanah menjadi kering. Menurut

Atterberg, hubungan antara indeks plastis dan jumlah plastisitas dan jenis tanah terlihat pada **Tabel 2.6.**

Tabel 2.6 Hubungan Antara Indeks Plastis Dengan Tingkat Plastisitas Dan Jenis Tanah Menurut Atterberg

PI	Tingkat Plastisitas	Jenis Tanah
0	Tidak plastis/ Non PI	Pasir
0 < PI < 7	Plastisitas rendah	Lanau (*Silt*)
7 – 17	Plastisitas sedang	*Silty – Clay*
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung (*Clay*)

(Sumber: Hardiyatmo, 2002)

2.4 Permeabilitas Tanah

Kapasitas tanah untuk memungkinkan air meresap melalui itu disebut sebagai permeabilitasnya. Tujuan pengukuran permeabilitas tanah adalah untuk menentukan seberapa mudah air dapat bergerak melalui pori-pori tanah. Ukuran lubang dan cara pori-pori terhubung satu sama lain adalah dua faktor utama yang mempengaruhi jumlah permeabilitas. Permeabilitas rendah karena ukuran lubang yang kecil dan distribusi pori-pori yang merata di seluruh material. Tanah yang memiliki pori-pori besar tetapi tidak ada yang terhubung satu sama lain memiliki permeabilitas yang mendekati nol, yang berarti hampir tidak ada aliran. Baik viskositas maupun berat jenis adalah sifat yang berpengaruh pada permeabilitas.

Menggunakan persamaan 2.1 dari Darcy (1956), kita dapat menghitung jalur air melalui lapisan tanah jenuh:

$q = A.k_i$ ……..…….. (2.1)

$v = \frac{q}{A} = k_i$ ……..…… (2.2)

Dengan:

q = Volume aliran air per satuan waktu (cm^3)

A = Luas penampang tanah yang dilewati air (cm^2)

k = Koefisien permeabilitas (cm/dt)

i = Gradien hidraulik

v = Kecepatan aliran (cm/dt)

Dari persamaan kecepatan (v) diatas adalah angka yang dipakai untuk menghitung banyak air yang rembes ke tanah.

2.5 Tegangan Efektif

Kuat geser dan volume tanah atau tenggelam keduanya dipengaruhi oleh tegangan efektif. Berkurangnya tingkat air tanah meningkatkan tekanan tanah yang efektif. Tanah tenggelam di daerah konsolidasi yang khas jika tegangan efektif lebih besar dari tegangan yang diserap oleh tanah yang ada, yang menyebabkan konsolidasi dan pemadatan.

Tegangan efektif, seperti yang dijelaskan oleh Terzaghi, hanya berlaku pada tanah yang benar-benar jenuh, yaitu:

1. Tegangan normal total (σ) adalah gaya tegak lurus akibat berat total tanah, termasuk air dalam ruang pori, per satuan luas.
2. Tekanan pori (u) adalah tekanan air yang mengisi rongga butir.
3. Tegangan normal efektif (σ') adalah tegangan yang disebabkan oleh berat butir tanah per satuan luas.

Hubungan tegangan normal total, tekanan pori, dan tegangan normal efektif sebegaimana ditunjukkan pada persamaan 2.3:

$\sigma = \sigma' + u$ ……...……. (2.3)

Dengan :

σ = Tegangan normal total (kN/m^2)

σ' = Tegangan normal efektif (kN/m^2)

u = Tekanan pori (kN/m^2)

Tegangan overbuden dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$P_o = \gamma' . H$ …….. (2.4)

Dengan :

Po = Tegangan *overbuden*

γ' = Muka air tanah jenuh (kN/m^2)

H = Tebal lapisan tanah (meter)

2.6 Kuat Geser

Kuat geser tanah adalah tahanan yang diberikan oleh butir-butir tanah terhadap tekanan atau tarikan. Menurut hukum Mohr, kuat geser tanah Coulomb memiliki hubungan fungsional dengan kohesi tanah dan gesekan partikel, yang dinyatakan sebagai berikut dalam persamaan 2.4:

$\tau = c + \sigma_n t \;\; a \;\; n . \theta$ ..... (2.5)

Dengan :

τ	= Kekuatan geser yang dibutuhkan sampai keruntuhan	(kPa)
c	= Kohesi tanah	(kPa)
σn	= Tekanan normal tegak lurus bidang keruntuhan	(kPa)
θ	= Sudut friksi internal partikel	(^{o})

Ada beberapa cara untuk menentukan kuat geser tanah, antara lain :

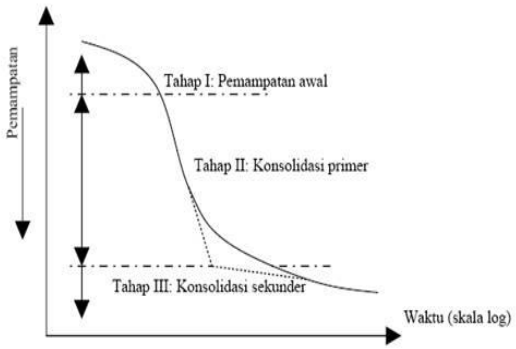
1. Pengujian geser langsung (*Direct shear test*)
2. Pengujian Triaksial (*Triaksial test*)
3. Pengujian tekanan bebas (*Uncofined compression test*)

2.7 Konsolidasi Tanah

2.7.1 Pengertian Konsolidasi

Konsolidasi tanah adalah pengurangan bertahap volume tanah yang benar-benar jenuh dengan permeabilitas yang buruk yang disebabkan oleh drainase sebagian air pori. Proses ini dilanjutkan sampai tegangan air pori yang meningkat yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah dihilangkan (Craig, 1994).

Ketika tanah dikenai beban, tekanan air pori meningkat dan mencari jalan keluar. Ini adalah proses konsolidasi. Mengikuti penguapan air pori secara progresif, rongga-rongga tersebut berangsur-angsur terisi oleh partikel-partikel tanah, yang mengakibatkan penurunan volume tanah dan penurunan muka tanah (Pratikso, 2008). Karena kapasitas penetrasi air yang buruk, penipisan tanah liat umumnya terjadi secara bertahap dari waktu ke waktu. Sebaliknya, penurunan di atas pasir berlangsung dengan cepat, sehingga waktu pembangunan di atas pasir telah lewat dan dikatakan bahwa penurunan juga telah selesai. Tahapan konsolidasi dapat dilihat pada **Gambar 2.2**



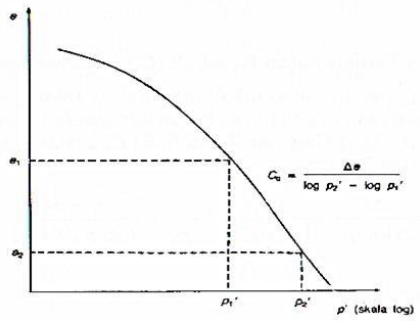
Gambar 2.2 Hubungan Pemampatan dan Waktu pada Tahapan Konsolidasi (Das, 1994)

Berdasarkan ilustrasi terlampir menunjukkan bahwa ada tiga fase konsolidasi yang berbeda:

1. Pemampatan awal (*initial compression*) ada dua jenis kompresi yang terjadi di tanah: (1) kompresi awal, di mana ada penurunan instan setelah prapembebanan, dan (2) kompresi akhir, di mana udara yang keluar dari pori-pori tanah dimampatkan, menyebabkan penurunan yang lebih besar. .
2. Waktu konsolidasi primer (*primary consolidation*), ketika air pertama kali dibiarkan keluar dari pori-pori tanah dan tekanan yang dihasilkan secara bertahap dipindahkan ke tegangan efektif.
3. Konsolidasi sekunder (*secondary consolidation*) tidak adanya tekanan air pori memicu terjadinya konsolidasi sekunder. Di sini, hasil kompresi dari butiran tanah yang menyesuaikan secara plastis dengan situasi.

2.7.2 Indeks Pemampatan (*Compression Index*)

Untuk mengukur berapa banyak kehilangan populasi dapat dikaitkan dengan konsolidasi, peneliti membuat indeks kompresi (Cc). Angka ini ditentukan dengan menggunakan kemiringan kurva yang menggambarkan hubungan antara rasio rongga dan tekanan, yang diperoleh melalui uji konsolidasi laboratorium. Indeks kompresi ditampilkan pada **Gambar 2.3.**



Gambar 2.3 Indeks Pemampatan (Hardiyatmo, 2003)

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta l \ o \ g \ P} = \frac{(e_1 - e_2)}{l \ o P_2' - l \ o P_1'} = \frac{e_1 - e_2}{l \ o (P_2'/P_1')} \quad \text{..... (2.6)}$$

Dengan :

C_c = Indeks pemampatan

Δe = Perubahan angka pori

Dari penelitian (Terzaghi dan Peck, 1967) untuk lempung *normally consolidated* ;

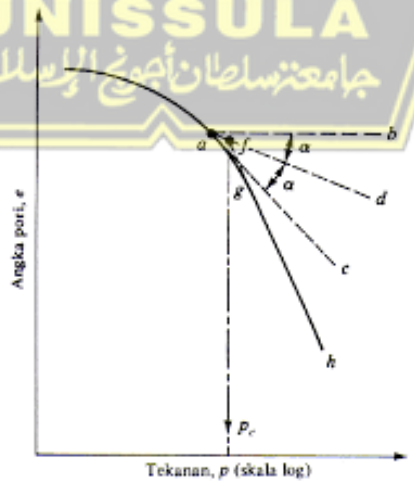
$C_C = 0{,}0\ 0\ (L\ L - 1\ 0)$

Untuk tanah yang dibentuk kembali (*remolded*) :

$C_C = 0{,}0\ 0\ (L\ L - 1\ 0)$

2.7.3 Tekanan Prakonsolidasi (Pc')

Tekanan prakonsolidasi ditentukan (Casagrande, 1936) pada grafik e – log p' seperti pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Grafik e – log p'(Das, 1995)

Tanah lempung berada dalam keadaan terkonsolidasi secara tipikal ketika tekanan prakonsolidasi (Pc') sama dengan tekanan overburden efektif (P0').

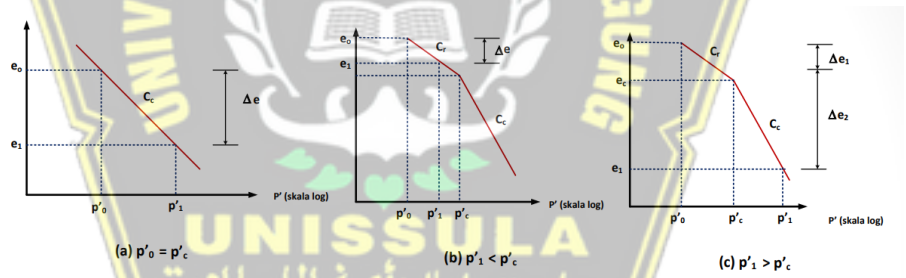
Jika tekanan prakonsolidasi lebih tinggi dari tekanan efektif lapisan penutup saat ini (Pc' > P0'), maka lempung berada dalam kondisi terkonsolidasi berlebih. Rasio tekanan prakonsolidasi terhadap tegangan efektif saat ini dikenal sebagai rasio konsolidasi berlebih (OCR), dan ditunjukkan pada Persamaan 2.6 di bawah ini.

$$OCR = \frac{P_c'}{P_0'} \quad \text{..... (2.7)}$$

Tanah terkonsolidasi normal memiliki nilai OCR = 1 yang menunjukkan bahwa tegangan yang dialami sebelumnya dan saat ini adalah sama. Sebaliknya, tanah yang terkonsolidasi berlebihan memiliki nilai OCR lebih besar dari 1 yang menunjukkan bahwa baik tegangan total maupun tekanan pori telah berubah. Jika tanahnya padat atau tidak stabil, tanah lempung memiliki OCR 1. Dalam hal ini, nilai tanah sedang terkonsolidasi (underconsolidation). Berikut adalah grafik yang menunjukkan penurunan konsolidasi.

Penurunan konsolidasi diperlihatkan pada persamaan 2.8 sebagai berikut:

$$P_1' = P_0' + \Delta P \quad \text{..... (2.8)}$$



Gambar 2.5 Penurunan Konsolidasi (Philip, 2015)

a. Tanah terkonsolidasi normal (OCR = 1) → P_c' = P_0'

$$S = C_c \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{P_1'}{P_o'} \quad \text{..... (2.9)}$$

Dengan :

S = Penurunan tanah (meter)

C_c = Indeks pemampatan

H_o = Tebal lapisan tanah (meter)

b. Tanah *overconsolidated* (OCR > 1), penurunan nilai konsolidasi primer total di nyatakan oleh persamaan yang tergantung dari nilai P_1'.

1. Bila P_1' < P_c'

$$S = C_r \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{P_1'}{P_o'} \quad \text{..... (2.10)}$$

2. Bila $P_1' > P_c'$

$$S = C_r \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{P_c'}{P_o'} + C_c \frac{H_o}{1+e_o} \log \frac{P_1'}{P_c'} \quad \text{..... (2.11)}$$

Dengan :

S = Penurunan tanah (m)

C_r = Indeks pemampatan kembali

C_c = Indeks pemampatan

H_o = Tebal lapisan tanah (m)

P_c' = Tekanan prakonsolidasi (kN/m^2)

e_0 = Angka pori awal

ΔP = Tambahan tegangan akibat beban pondasi

P_0 = Tekanan *overburden* efektif awal sebelum di bebani

Hubungan antara Δe dan ΔH dinyatakan oleh:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_o} \quad \text{..... (2.12)}$$

Dengan :

ΔH = Perubahan tinggi (meter)

H = Tebal lapisan tanah (meter)

Δe = Perubahan angka pori

e_0 = Angka pori semula

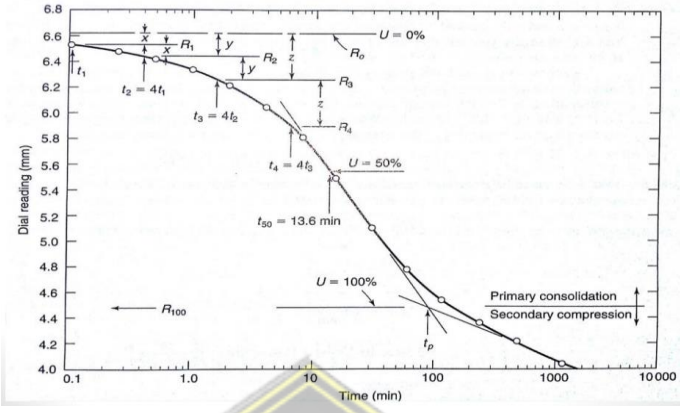
2.7.4 Koefisien Konsolidasi

Jika penurunan konsolidasi struktur diproyeksikan besar, kecepatan penurunan harus diperhitungkan. Jika penurunan dapat diabaikan, laju penurunan dari waktu ke waktu tidak memberikan efek yang berarti. Derajat konsolidasi pada saat tertentu dinilai dengan menghasilkan grafik penurunan vs pertumbuhan.

Meskipun tekanan air pori telah turun menjadi nol pada akhir fase konsolidasi, benda uji dalam peralatan konsolidasi terus menyusut karena konsolidasi sekunder. Mengumpulkan data tentang penurunan dan waktu dapat membantu menentukan apakah konsolidasi telah selesai, tetapi mencatat tekanan air pori selama pembebanan juga dapat berguna.

Penentuan seberapa cepat air bergerak naik melalui tanah adalah koefisien konsolidasi vertikal (Cv). Karena hampir semua konsolidasi berlangsung

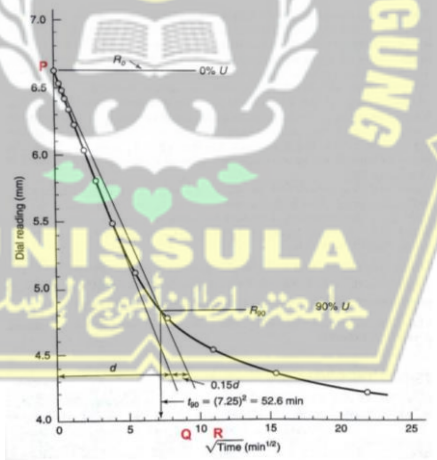
sepanjang sumbu vertikal saja. Laju konsolidasi dipengaruhi oleh koefisien konsolidasi. Contoh penentuan Cv melalui pencocokan log waktu ditunjukkan di bawah ini.



Gambar 2.6 Cara menentukan C_v dengan Metode Kecocokan Log – waktu (Philip, 2015)

Setelah diperoleh t50, maka nilai Tv untuk derajat konsolidasi rata – rata U = 50% adalah 0,197. Sehingga koefisien Cv dinyatakan pada persamaan :

$$C_v = \frac{0{,}197 H_t^2}{t_{50}} \quad \text{..... (2.13)}$$



Gambar 2.7 Cara menentukan C_v dengan Metode Akar Waktu (Philip, 2015)

Faktor waktu Tv untuk derajat konsolidasi U=90% adalah 0,848. Pada keadaan ini , koefisien konsolidasi Cv dinyatakan oleh persamaan

$$C_v = \frac{0{,}848 H_t^2}{t_{90}} \quad \text{..... (2.14)}$$

Dengan :

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

H_t = Tebal tanah (cm)

t_{90} = Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90 %

2.7.5 Derajat Konsolidasi

Konsolidasi tanah diukur dengan persentase penurunan tanah dalam jangka waktu tertentu relatif terhadap penurunan tanah total.

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4xT_v}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)^{0,179}} \quad \ldots\ldots (2.15)$$

Dengan:

T_v = *Time factor*

Cassagrande dan Taylor menganjurkan persamaan hubungan antara U dan Tv sebagai berikut :

a. Untuk U < 60%

$$T_v = \frac{\pi}{4} x U^2 \quad \ldots\ldots (2.16)$$

b. Untuk U > 60%

$$T_v = -0{,}933 \log(100 - U\%) - 0{,}085 \quad \ldots\ldots (2.17)$$

2.8 Penurunan Tanah

Ketika berat ditempatkan pada tanah dasar, penurunan terjadi. Setiap kali satu lapisan tanah dipaksa untuk menanggung beban yang lain, tegangan pada tanah langsung di bawah beban kerja meningkat. Turunnya tanah dasar merupakan penyebab terjadinya kenaikan tegangan (settlement). Penguraian partikel tanah dan hilangnya kelembaban tanah keduanya berkontribusi terhadap penurunan ini. Karena pelepasan air yang lambat dari tanah ketika beban ditingkatkan, dan transfer tekanan air pori berlebih ke tegangan efektif, tegangan total tanah berkurang.

Laju penurunan tanah dipengaruhi oleh rembesan tanah (permeabilitas), yang mengontrol laju penguapan air dari tanah, dan kompresibilitas tanah, yang menentukan volume air yang harus menguap. Tiga faktor berikut berkontribusi terhadap penurunan tanah:

$$S_t = S_i + S_c \quad \ldots\ldots (2.18)$$

Dengan :

S_t = Penurunan total (meter)

S_i = Penurunan segera (meter)

S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer (meter)

2.8.1 Penurunan Segera (S_i)

Penurunan langsung adalah penurunan yang terjadi pada pengaturan *undrained* atau ketika volume tidak bervariasi. Penurunan ini mengikuti beban kerja secara instan. Penurunan ini sebanding dengan besarnya modulus elastisitas tanah dan berat pada timbunan di atas tanah.

Menggunakan temuan *Cone Penetration Test* statis Sondir, ada dua teknik untuk memperkirakan pengurangan:

a. Metode De Beer dan Marten (1957)

Hasil kerucut statis dapat digunakan untuk menghitung pengendapan fondasi di tanah granular. De Beer dan Marten (1957) mengusulkan persamaan bilangan kompresi (C) berikut ini dalam hubungannya dengan persamaan Buismann:

$$C = \frac{1{,}5 q_c}{P_o'} \quad \text{.....(2.19)}$$

Dengan :

C = Angka pemampatan (gr/cm^2)

q_c = Tahanan kerucut statis (kg/cm^2)

P_o' = Tekanan *overbudden* efektif

Persamaan Terzaghi untuk lapisan tanah, yang dapat ditemukan di sini, membutuhkan nilai C ini sebagai masukan. Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai:

$$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \quad \text{.....(2.20)}$$

Dengan :

Si = Penurunan akhir lapisan setebal H (m)

P_o' = Tekanan *overbudden* efektif awal

ΔP = Tambahan tegangan vertikal pada tengah lapisan

Mayerhof (1956) menawarkan hubungan antara nilai N dan SPT dan resistansi kerucut statis (qc) yang diperoleh dari uji kerucut statis, sebagai berikut: Mayerhof (1956) menunjukkan bahwa nilai perkiraan antara nilai qc

dan N untuk pasir tanah dapat ditemukan dengan menggunakan rumus berikut:

$q_c = 4N$ ……..……...……. (2.21)

b. Metode Schmertmann (1978)

Temuan *Cone Penetration Test* statis digunakan oleh Schmertmann et al. (1978) untuk menilai besarnya penurunan yang akan terjadi pada tanah granular akibat pondasi. Persamaan berikut digunakan untuk menentukan berapa banyak penurunan sesaat (S_i):

$S_i = C_1 C_2 q_n \sum_0^{2B} \frac{I_z}{E} \Delta z$ …… (2.22)

Dengan :

C_1 = Faktor koreksi kedalaman

C_2 = Faktor rangkak

q_n = Tekanan pondasi netto (kN/m^2)

B = Lebar pondasi (meter)

I_z = Faktor pengaruh regangan lateral

E = Modulus elastisitas tanah (kN/m^2)

Δz = Ketebalan lapisan tanah (meter)

Faktor koreksi kedalaman dihitung dengan persamaan :

$C_1 = 1 - 0{,}5(\frac{P_o'}{q_n})$ …….. (2.23)

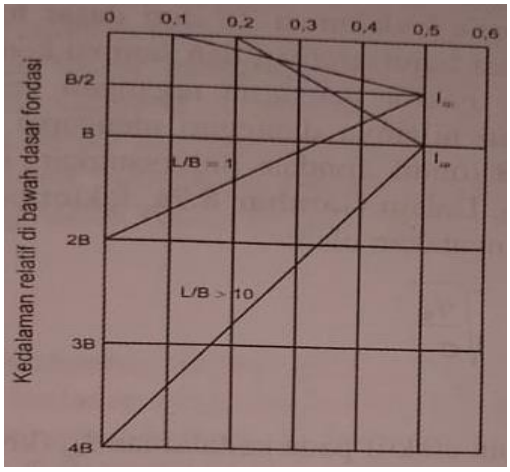
Dengan $C_1 \geq 0{,}5$

P_o' adalah tekanan *overbudden* efektif pada dasar pondasi. Faktor koreksi rangkak dihitung dengan :

$C_2 = 1 + 0{,}2 \log(\frac{t}{0{,}1})$ ……..…….. (2.24)

t merupakan waktu yang ditinjau (dinyatakan dalam tahun)

Faktor efek regangan vertikal ini dapat diturunkan dari salah satu dari dua kurva yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8** untuk pondasi persegi yang dikenai pembebanan aksi simetris dengan terlebih dahulu memanfaatkan kurva L/B = 1 dan kemudian memilih salah satu kurva. Dalam hal pondasi memanjang yang mengalami regangan bidang, dimana panjang pondasi lebih besar dari sepuluh kali lebarnya, kurva L/B harus lebih besar dari sepuluh. Interpolasi digunakan untuk menentukan nilai faktor pengaruh ketika L/B kurang dari 10.



Gambar 2.8 Grafik Faktor Pengaruh Regangan untuk Pondasi Kaku Iz (Hardiyatmo, 2014)

Saat menghitung besarnya penurunan yang akan terjadi, tahanan kerucut diperhitungkan untuk pondasi bujur sangkar sampai dengan kedalaman 2B dari dasar pondasi, dan untuk pondasi memanjang diperhitungkan sampai dengan kedalaman 4B. Variabel pengaruh pada regangan vertikal maksimum (Iz) diatur ke nilai 0,5, dan nilainya diperkirakan mencapai maksimum pada kedalaman z = 0,5B (untuk pondasi persegi) dan z = b (untuk jenis pondasi lainnya). pondasi) (untuk pondasi memanjang). Berikut ini menjelaskan pengaruh variabel regangan terhadap nilai puncak:

$$I_{z\ p} = 0{,}5 + 0{,}1\sqrt{\frac{q_n}{\sigma_{v'}}} \quad \text{..... (2.25)}$$

Dengan :

σ_v' = Tegangan efektif pada kedalaman I_{zp} (kN/m^2)

q_n = q – P_o' = tekanan pondasi netto (kN/m^2)

q = Tekanan kontak pada dasar pondasi (kN/m^2)

P_o' = Tegangan efektif pada dasar pondasi (kN/m^2)

Nilai modulus elastisitas garis potong diperlukan untuk menentukan penurunan sesaat menggunakan persamaan 2.21. (E). Dalam studi mereka dari tahun 1978, Schmertmann dan rekan mengusulkan hubungan berikut antara modulus elastisitas (E) tanah berpasir dan qc yang diturunkan dari uji kerucut statis:

E = 2,5 q_c (pondasi bujur sangkar)

E = 3,5 q_c (pondasi memanjang)

Schmertmann et al (1978) mengusulkan hubungan N dan qc menurut jenis pada tanah sebagai berikut :

1. Lanau, lanau berpasir, dan pasir berlanau sedikit kohesif, N=2 q_c
2. Pasir bersih halus sampai sedang, pasir sedikit berlanau, N=3,5 q_c
3. Pasir kasar dan pasir dengan sedikit kerikil, N=5 q_c
4. Kerikil berpasir dan kerikil, N=6 q_c

Dengan membagi diagram tahanan kerucut menjadi lapisan-lapisan dengan tahanan kerucut (qc) yang hampir sama, penurunan sesaat pondasi dapat dihitung pada tanah berpasir. Hal ini memungkinkan lapisan dianggap memiliki tingkat resistensi kerucut yang sama. Perhitungan untuk E dan Iz yang sesuai untuk setiap lapisan digunakan untuk menentukan pengurangan beban yang disebabkan oleh setiap lapisan. Setelah itu besarnya penurunan yang terjadi pada setiap lapisan disesuaikan dengan faktor kedalaman (C1) maupun faktor rangkak (C2).

2.8.2 Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)

Tanah yang telah mengendap sebagai akibat dari konsolidasi primer menjadi tertekan akibat pergeseran jumlah tanah yang telah jenuh karena air telah ditarik keluar dari pori-pori tanah.

$$S_c = \frac{e_0 - e_1}{1+e_0} H = \frac{\Delta e}{1+e_0} H \quad \text{..... (2.26)}$$

Untuk lempung *normally consolidated* :

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \quad \text{..... (2.27)}$$

Bila $P_1' < P_c'$, maka :

$$S_c = \frac{C_r}{1+e_0} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'} \quad \text{..... (2.28)}$$

Bila $P_o' < P_c' < P_1'$, maka :

$$S_c = \frac{C_r}{1+e_0} H \log \frac{P_c'}{P_o'} + \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_c'} \quad \text{..... (2.29)}$$

Dengan :

H	= Tebal lapisan lempung	(m)
e_0	= Angka pori awal	(*initial vod ratio*)
C_c	= *Compression index*	
C_r	= *Swelling index*	

ΔP = Besarnya tegangan di muka tanah (t/m^2)

P_o' = Tegangan *overburden* efektif (t/m^2)

P_c' = Tegangan prakonsolidasi efektif (t/m^2)

2.8.3 Penurunan Konsolidasi Sekunder (S_s)

Pemampatan yang dihasilkan dari penyesuaian plastis butir-butir tanah inilah yang menyebabkan terjadinya pengendapan yang ditimbulkan oleh konsolidasi sekunder.

2.9 Timbunan Tanah

2.9.1 Pengertian Tinggi Timbunan

Tinggi timbunan adalah jumlah timbunan yang diperlukan untuk mencapai elevasi tanah dasar ultimit yang ditunjukkan pada gambar perencanaan untuk tujuan tertentu. Ketinggian timbunan awal pada saat pelaksanaan berbeda dari ketinggian yang dimaksudkan.

Jumlah tanah yang ditambahkan selama pelaksanaan untuk mencapai tinggi tanggul yang diinginkan pada periode yang ditentukan, juga dikenal sebagai tinggi tanggul pelaksanaan. Kompresi tanah dasar menentukan seberapa baik tanggul dilakukan

Setiap tahap pemasangan tanggul berlangsung selama periode waktu tertentu, dan ketinggian tanggul pada setiap tahap ditetapkan terlebih dahulu. Setelah mengisi setiap langkah, stabilitas tanah dasar dievaluasi untuk setiap perubahan.

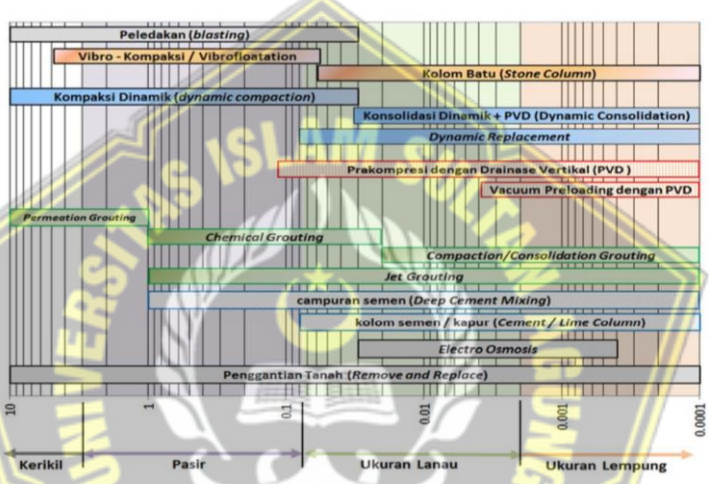
2.9.2 Pemadatan Tanah

Pemadatan tanah adalah proses pemadatan tanah secara mekanis untuk meningkatkan berat jenisnya dengan cara meremas partikel padat tanah agar lebih rapat. Tujuan pemadatan adalah untuk meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan kekuatan geser dan daya dukungnya, meminimalkan penurunan, dan menurunkan permeabilitasnya.

2.10 *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Panjang jalur drainase dengan proses durasi konsolidasi untuk mendapatkan konsolidasi tertentu. Koefisien konsolidasi terlalu rendah dan tanah lempung lunak

mempunyai permeabilitas rendah serta berkompresibilitas tinggi maka untuk penyelesaian terjadi secara bertahap dengan jangka waktu yang lama. Sedangkan, untuk konstruksi jalan raya dengan durasi yang terbatas dan penyelesaian yang ketat, diperlukan metode alternatif untuk mempercepat masalah tersebut yaitu dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Selama konsolidasi, air pori didorong keluar, dan aliran air horizontal lebih cepat daripada aliran air vertikal. Air bawah permukaan kemudian mengalir melalui jalur drainase vertikal yang dibangun. Teknik ini menggunakan PVD untuk mengurangi saluran drainase dan mempercepat prosedur konsolidasi. Pemilihan teknik perbaikan tanah tergantung pada karakteristik tanah dapat diamati pada **Gambar 2.9**



Gambar 2.9 Pemilihan Metode Perbaikan Tanah Berdasarkan Kriteria Tanah (SNI 8460:2017)

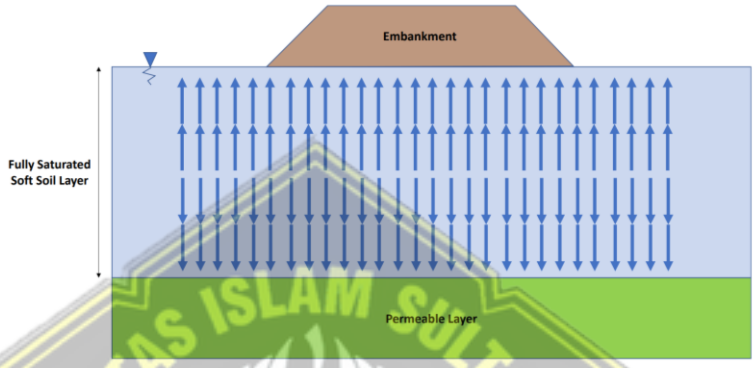
Pemilihan metode perbaikan tanah dapat dilihat pada **Gambar 2.10** sebagai berikut:

GROUND IMPROVEMENT METHOD	TYPE OF SOIL		GROUND IMPROVEMENT OBJECTIVES				
	GRANULAR	COHESIVE	BEARING CAPACITY	SETTLEMENT CONTROL	LATERAL STABILITY	ENVIRONMENTAL CONTROL	LIQUEFACTION RESISTANCE
Vibrocompaction	√	-	√	√	-	-	√
Dynamic Compaction	√	-	√	√	-	√	√
Blasting	√	-	√	√	-	-	√
Compaction Grouting	√	-	-	√	-	-	-
Preloading / Vertical Drains	-	√	√	√	-	-	-
Electro-osmosis	-	√	√	√	-	-	-
Vacuum Consolidation	-	√	√	√	-	-	-
Lightweight Fill	√	√		√	-	-	-
Mechanical Stabilization	√	-	√	√	√	-	-
Soil Nailing	√	-	-	-	√	-	-
Soil Anchoring	√	-	-	-	√	-	-
Micropiles	√	-	√	√	√	-	-
Stone Columns	-	√	√	√	√	-	√
Fiber Reinforcement	√	-	√	√	√	-	-
Permeation Grouting	√	-	√	√	-	√	-
Jet Grouting	√	√	√	√	√	√	√
Deep Soil Mixing	√	-	√	√	√	√	√
Lime Columns	-	√	√	√	√	√	√
Fracture Grouting	-	√	√	√	-	√	-
Ground Freezing	√	√	-	-	√	√	-
Vitrification	√	√	-	-	-	√	-
Electrokinetic Treatment	-	√	-	√	-	√	-
Electroheating	-	√	-	√	-	√	-
Biotechnical Stabilization	√	-	-	-	√	√	-

Gambar 2.10 Pemilihan Metode Perbaikan Tanah (Kuswanda, 2015)

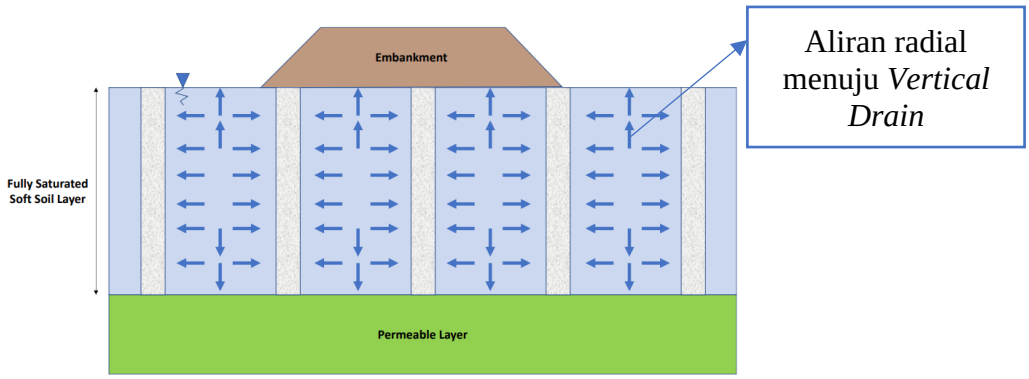
2.10.1 Penjelasan *Prefabricated Vertical Drain*

Dalam konsep konsolidasi Terzaghi, jalur drainase selama disipasi kelebihan air pori berada kearah vertikal atas, sepanjang lapisan yang dapat dikompresi. Dalam lapis permeable diletakkan dibawah lapisan terkompresi, drainase kearah vertikal atas dan bawah seperti pada **Gambar 2.11**. Gambar ini kami dapatkan dari data Semarang-Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.11 Jalur Drainase Selama Proses Konsolidasi Tanpa PVD

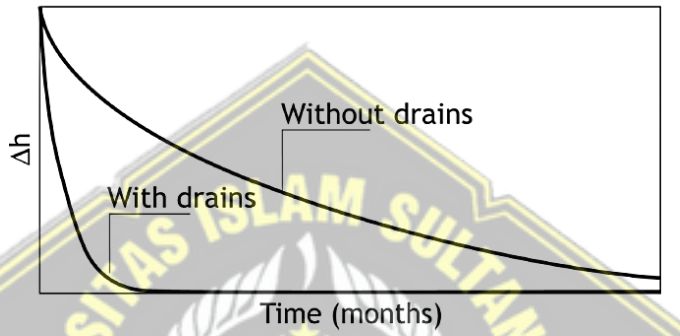
Prefabricated Vertical Drain atau di singkat PVD merupakan jalur drainase buatan yang dimasukan ke dalam lapisan lempung dengan material *geocomposite* berupa lembaran plastik yang dipasang untuk drainase *vertical* panjang dengan lapisan inti (*core*) yang terbuat dari *polypropylene* dan lapisan pembungkus *filter* yang terbuat dari bahan geotekstil yang dapat dipasang ke tanah untuk mengurangi waktu keseluruhan yang diperlukan untuk penyelesaian konsolidasi. Jalur drainase selama proses konsolidasi dengan PVD dapat dilihat pada **Gambar 2.12**. Gambar ini kami dapatkan dari data Semarang-Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.12 Jalur Drainase Selama Proses Konsolidasi dengan PVD

SNI 8460: 2017 menetapkan aplikasi PVD berikut untuk konstruksi dan pemeliharaan darat dan laut:

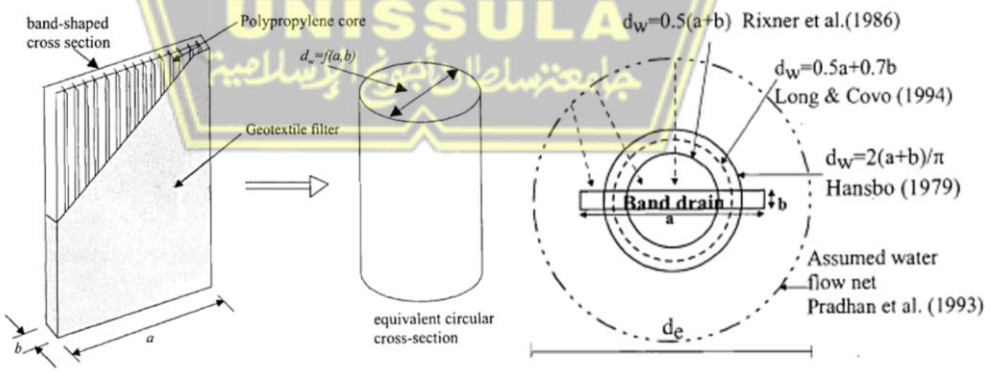
- Mempercepat proses konsolidasi dengan meminimalkan panjang saluran yang harus dilalui oleh tekanan pori berlebih agar dapat dihamburkan;
- Mengurangi jumlah penurunan yang terjadi setelah pembangunan;
- Meningkatkan stabilitas (dengan menaikkan tegangan efektif dalam tanah);
- Mengurangi atau mitigasi efek likuifaksi.



Gambar 2.13 Grafik Perbandingan Perbaikan Tanah Lunak dengan atau Tanpa PVD (Almeida dkk, 2013)

2.10.2 *Band Drain*

Jenis pita PVD yang paling popular yaitu pita dengan penampang persegi panjang dan terdiri dari inti dan lengan *filter*.



Gambar 2.14 Bagian - bagian PVD (Sathananthan, 2005).

Inti memiliki dua peran utama yaitu untuk mendukung lengan *filter* dan juga untuk menyediakan drainase. Biasanya bentuk inti diprofilkan *strip* dengan atau tanpa lubang.

1. Inti (*Core)*

   Inti dari *Prefabricated Vertical Drain* berfungsi sebagai saluran air untuk memudahkan pergerakan air dari tanah ke permukaan tanah. Inti ini dipisahkan menjadi tiga kelas:

   - ¶ *grooved core*
   - ¶ *studded core*
   - ¶ *filament core*

2. Jaket (*Filter*)

   Jaket pada *Prefabricated Vertical Drain* memiliki dua tujuan: mengisolasi inti dari tanah di sekitarnya dan bertindak sebagai filter untuk mencegah partikel tanah memasuki teras. Kedua tugas ini dilakukan oleh jaket. Resistansi filter ini tergantung pada ukuran butir dan tekanan pori tanah. Partikel kecil yang masuk bersama aliran air dan menyumbat filter mengurangi umurnya. Filter dapat tersumbat jika partikel-partikel ini dibiarkan masuk. Sedimentasi dan penurunan kapasitas Drainase Vertikal Pracetak dapat disebabkan oleh terlalu banyak partikel kecil yang melewati *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

2.10.3 *Filter Sleeve*

Memastikan bahwa saluran pita menghilangkan tekanan pori berlebihan secara efektif selama proses konsolidasi, maka *filter sleeve* harus memenuhi kriteria sebagi berikut :

1. Kemampuan Retensi Tanah

   Lengan *filter* harus cukup kecil sehingga dapat mencegah partikel tanah memasuki saluran. Menurut Carrol (1983), kondisi untuk memenuhi kemampuan retensi tanah adalah

$$O95 \leq (2\sim3)D85$$

Dan

$$O50 \leq (10\sim12)D50$$

O95 adalah ukuran pembukaan ukuran dari *filter*, O50 adalah ukuran yang lebih besar dari 50% pori-pori kain dan D85 dan D50 mengacu ukuran untuk 85% dan 50% melewati partikel tanah.

2. Permeabilitas

   Dalam desain *filter*, permeabilitas *filter* harus setidaknya satu urutan besarnya lebih tinggi dari tanah.

   $k_f \geq 10kh$

   Dengan :

   k_f = Permeabilitas penyaring

   kh = Permeabilitas tanah secara radikal

   Wang dan Chen (1996) merekomendasikan *filter* harus kurang dari 100 m/s, tetapi tidak kurang dari 100 kali permeabilitas tanah.

   $n \geq 30\%$

   $O_{95} \geq 3D_{15}$

   $O_{15} \geq (2\sim3)D_{10}$

   Dengan :

   n = Porositas *filter*

   O_{15} = Ukuran yang lebih besar dari 15% dari pori-pori kain

   D_{10}, D_{15} = Ukuran untuk 10 dan 15% dari partikel tanah yang lewat

2.10.4 Kekuatan Tarik

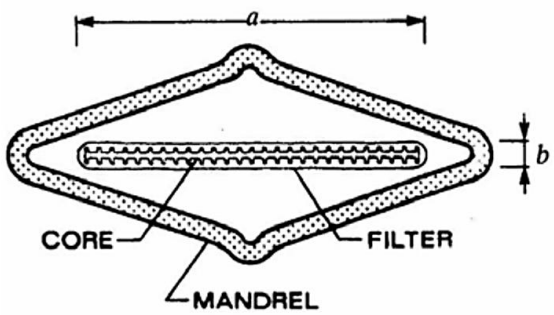
Selain memenuhi persyaratan untuk filter, *Prefabricated Vertical Drain* juga harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan tegangan tarik saat dipasang. Karena itu, penting untuk menilai kekuatan teras, kekuatan filter, kekuatan saluran pembuangan lengkap, dan kekuatan saluran penghubung, seringkali dalam keadaan basah dan kering.

Menghindari fraktur atau terputusnya selama dan setelah pemasangan, dalam kedalaman lebih dari 25 meter, kekuatan tarik PVD harus lebih tinggi dari 2,2 kN dengan elongasi 10%. Sambungan PVD juga diperlukan untuk memiliki kekuatan tarik yang sama atau lebih baik.

2.10.5 Diameter Ekivalen *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Pita PVD sering berbentuk lembaran atau strip persegi panjang, namun teknik drainase vertikal mengandaikan drainase memiliki penampang melingkar.

Karena itu, diameter yang sesuai perlu dipertimbangkan. Penentuan diameter ekivalen dapat dilakukan dengan berbagai metode (dw).



Gambar 2.15 Diameter Equivalen (d_w) untuk *Prefabricated Vertical Drain* (*PVD*) (Mochtar, 2012)

Koerner (1986) :

$$d_w = \frac{\sqrt{4B\ t n_d / \pi}}{n_s} \quad \text{..... (2.30)}$$

Kjellman (1948) :

$$d_w = \frac{2\,(B+t)}{\pi} \quad \text{..... (2.31)}$$

Rixner et al (1986) dan Hansbo (1987) :

$$d_w = \frac{(B+t)}{2} \quad \text{..... (2.32)}$$

Dengan :

B = Lebar *strip* (meter)

t = Tebal *strip* (meter)

n_d = *Void area*

n_s = Porositas *sand drain*

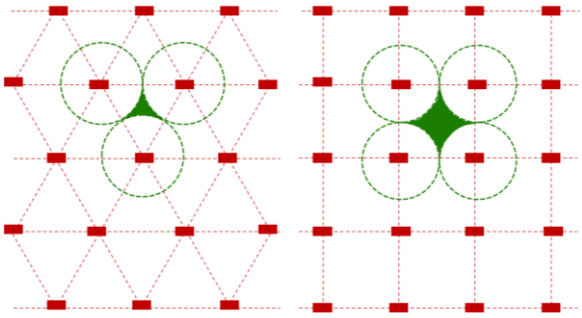
2.10.6 Faktor yang Mempengaruhi Percepatan Konsolidasi pada PVD

Berikut ini adalah daftar faktor-faktor yang dapat berdampak pada efektivitas percepatan konsolidasi Prefabricated Vertical Drain (PVD):

1. Transformasi Tampang pada PVD

   Penentuan titik pemasangan *Prefabricated Verticak Drain* dapat dilakukan dengan pola-pola untuk memudahan pelaksanaanya. Menghitung waktu konsolidasi dengan pola persegi, akan menghasilkan peningkatan waktu konsolidasi sekitar 20% sebaliknya, untuk waktu konsolidasi yang sama,

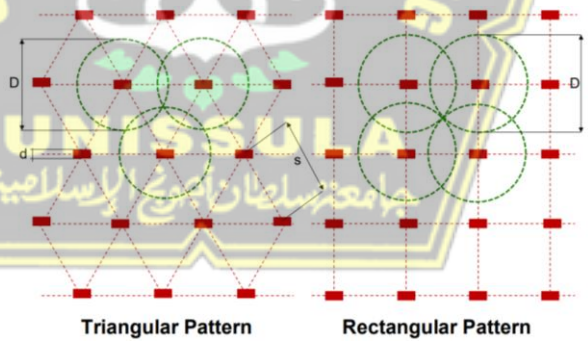
jumlah saluran yang dihitung per satuan luas adalah sama, baik diasumsikan dalam pola persegi atau segitiga.



Gambar 2.16 Pola PVD (Kiri pola segitiga, kanan pola persegi) (Pratikso, 2022)

Pola pemasangan PVD ada 2, yaitu pola segitiga dan pola persegi. Berdasarkan gambar diatas dapat dilihat bahwa penggunaan pola segitiga lebih efektif dibanding pemasangan PVD dengan pola persegi. Hal ini dikarenakan sisa jarak yang tidak tercakup oleh PVD pada pola segitiga lebih kecil dibanding pola persegi.

Pemasangan saluran pembuangan *vertical* dapat dilihat pada **Gambar 2.17** yang kami dapatkan dari data Semarang - Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.17 Tipikal Pola Pemasangan PVD

Dengan :

D = Diameter Pengaruh (meter)

d = Dimensi PVD

s = Spasi antar PVD (meter)

Ada dua pola pemasangan yang berbeda untuk PVD, yang masing-masing disebut sebagai pola segitiga dan pola persegi panjang. Istilah

"pola segitiga" mengacu pada susunan titik-titik PVD sedemikian rupa sehingga membentuk pola segitiga setelah titik-titik tersebut ditempatkan. Sementara itu, bentuk pola titik PVD disebut ketika membahas pola persegi panjang. Hal ini dilakukan agar pola dapat dibentuk menjadi bentuk persegi panjang.

$S = U_v x S_t$ ……..……..…(2.33)

Dengan :

S = Penurunan total (meter)

U_v = Derajat konsolidasi

S_t = Penurunan total (meter)

Diameter pengaruh PVD dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

D = 1.13s untuk pola segiempat

D = 1.05s untuk pola segitiga

Diameter ekivalen dihitung dengan membagi panjang persegi panjang dengan lebarnya (Hasbon, 1960), yang digunakan dalam perhitungan PVD, dan dicetak dalam bentuk lingkaran. Ini akan memungkinkan perhitungan diameter ekivalen PVD (Barimbing, 2017). Oleh karena itu, persamaan berikut dapat digunakan untuk mencari diameter ekivalen PVD:

$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$ ……..…… (2.34)

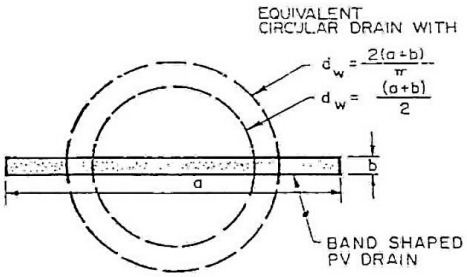
Dengan :

d_w = Diameter PVD (meter)

a = Panjang PVD (meter)

b = Lebar PVD (meter)

Transformasi penampang diameter setara PVD dapat dilihat pada **Gambar 2.18** yang kami dapatkan dari data Semarang - Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.18 Transformasi Penampang Diameter Setara PVD

2. Faktor Akibat Jarak Antar *Prefabricated Vertical Drain* (*PVD*)

   Panjang jalur drainase air pori horizontal dipengaruhi oleh jarak yang ada antar PVD. Ketika jarak antar PVD semakin jauh, maka jarak tempuh air untuk mencapai PVD dan berangkat semakin jauh, yang menyebabkan proses konsolidasi menjadi lebih lama. Dengan menggunakan diameter pengaruh dan nilai diameter ekivalen yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya, maka faktor yang menyebabkan jarak antar PVD adalah sebagai berikut:

   $$F(n) = \frac{n^2}{n-1} \ln(n) - \frac{3n^2-1}{4n^2} \quad \text{..... (2.35)}$$

   $$F(n) = \frac{1}{1-\frac{1}{n^2}} \ln(n) - \frac{3-\frac{1}{n^2}}{4} \quad \text{..... (2.36)}$$

   $$F(n) = \ln n - \frac{3}{4} \quad \text{..... (2.37)}$$

   $$n = \frac{D}{d_w} \quad \text{..... (2.38)}$$

   Jadi, faktor akibat jarak antar *Prefabricated Vertical Drain PVD)* adalah :

   $$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4} \quad \text{..... (2.39)}$$

   Dengan :

   F (n) = Faktor akibat jarak antar *Prefabricated Vertical Drain*

   D = 1.13s untuk pola segiempat

   D = 1.05s untuk pola segitiga

   d_w = Diameter *Prefabricated Vertical Drain*

   Horizontal Drain digunakan untuk mengalirkan air dari Prefabricated Vertical Drain (PVD) di dalam tanah ke saluran drainase utama, dan air kemudian dialirkan ke sisi kanan atau kiri tanggul. Drain Horizontal Prefabrikasi adalah material komposit yang dipasang secara horizontal. Ini

terdiri dari inti (inti) dan selimut (jaket), dan ini dikenal sebagai saluran horizontal prefabrikasi.

3. Zona *Smear* (Fs)

   Meskipun diasumsikan bahwa pemasangan PVD tidak akan mempengaruhi kualitas tanah di sekitarnya, tergantung pada seberapa halus tanahnya, mungkin akan sedikit terganggu selama proses tersebut (Rowe, 1968). Hal ini dapat terjadi pada instalasi yang menggunakan PVD (Barimbing, 2017).

   Mandrel dengan proporsi yang lebih besar digunakan untuk membuat lubang di tanah untuk instalasi PVD, dan ujung mandrel yang runcing ditutup dengan sepatu. Dikarenakan luas mandrel lebih besar dari pada PVD, maka pemasangan mungkin akan berpengaruh pada gangguan tanah yang berada di sekitar mandrel. *Smear effect* adalah nama yang diberikan untuk jenis gangguan ini.

   Proses remolding yang terjadi pada saat pemasangan PVD bertanggung jawab terhadap efek smear, yaitu penurunan nilai koefisien permeabilitas radial tanah (kr). Ukuran dan bentuk mandrel, microfabric tanah, dan teknik pemasangan semuanya berdampak pada interferensi. Dimungkinkan untuk menurunkan luas penampang mandrel, tetapi kekakuan mandrel masih dapat dipertahankan dengan melakukannya. Ini akan memungkinkan seseorang untuk memecahkan masalah yang dijelaskan di atas.

   Diameter pengaruh *mandrel* diprediksi 2 kali dari diameter yang setara dengan *mandrel*,dm (Hansbo, 1987). *Mandrel* efektif dihitung dengan persamaan dibawah ini :

   Menurut Hansbo (1987)

   $d_s = 2d_m$

   $$d_m = \sqrt{\frac{4}{\pi}} w\ l \approx \frac{2(W+L)}{\pi} \quad \text{..... (2.40)}$$

   Dengan :

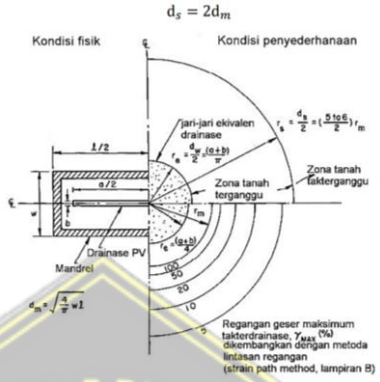
   d_s = Diameter *smear zone* (meter)

   d_m = Diameter mandrel (meter)

   W = Lebar mandrel (meter)

L = Panjang mandrel (meter)

Prediksi zona pengaruh di sekitar mandrel dapat dilihat pada **Gambar 2.19** yang kami dapatkan dari data Semarang-Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.19 Prediksi Zona Pengaruh di Sekitar Mandrel

Besarnya koefisien permeabilitas arah horizontal yang terusik dan yang tidak terganggu ($k_s = k_v$) akibat pemasangan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*.

Besarnya faktor (Fs) mungkin mendekati atau agak lebih besar dari F(n) tergantung pada tingkat kerusakan tanah yang disebabkan oleh tusukan PVD. Fs/F(n) dapat bervariasi dari 1 hingga 5. Faktor zona noda dihitung sebagai berikut:

$$F_s = \left(\frac{k_h}{k_s} - 1\right) l\ n\left(\frac{d_s}{d_w}\right) \quad \text{..... (2.41)}$$

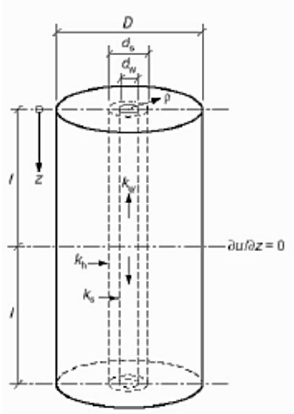
Dengan :

k_s = Koefisien permeabilitas horizontal pada daerah yang terusik

k_h = Koefisien permeabilitas horizontal tanah yang tidak terganggu

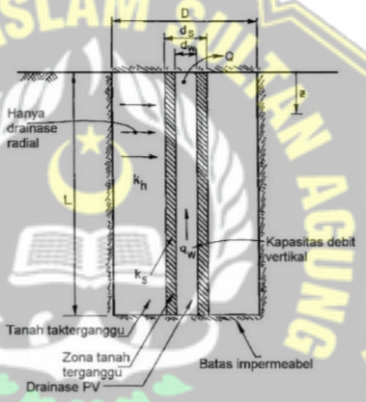
d_s = Diameter daerah yang terganggu sekeliling *vertical drain*

d_m = Diameter mandrel



Gambar 2.20 *Smear Effect* (Hansbo, 1994)

Skema PVD dengan zona smear dan ketahanan tanah yang baik dapat dilihat pada **Gambar 2.21** yang kami dapatkan dari data Semarang-Demak *Toll Road Integrated with Sea Dike Project*.



Gambar 2.21 Skema PVD dengan Zona *Smear* dan Ketahanan Tanah yang Baik

4. Faktor *Well Resistance* (Fr)

   Faktor *Well Resistance* adalah faktor yang dapat mengurangi kapasitas tampung PVD. *Well Resistance* pada PVD terjadi jika kapasitas debit lebih rendah dari volume air yang dikeringkan, dengan demikian dapat menurunkan tingkat konsolidasi. *Well Resistance* terjadi karena:

   ¶ Menekuk lengan filter ke inti karena tekanan lateral tanah yang menyebabkan drainase jalur yang lebih kecil

   ¶ Masuknya partikel tanah ke dalam inti

¶ Penurunan kapasitas debit air karena tikungan PVD oleh konsolidasi penyelesaian dengan regangan besar yang terjadi pada lapisan terkompresi tebal. Hal ini juga menyebabkan beban tanggul besar.

Well Resistance dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_r = \pi\, z(L - z)\left(\frac{k_h}{q_w}\right) \quad \text{..... (2.42)}$$

Dengan :

F_r	= Faktor *Well Resistance*	
z	= Panjang suatu titik dari akhir drainase	(meter)
L	= Panjang efektif PVD	(meter)
	= L untuk drainase tunggal	(meter)
	= 0.5L untuk drainase ganda	(meter)
k_h	= Koefien permeabilitas arah horizontal	
q_w	= Kapasitas tampung PVD	(m^3/s)

Dalam konsolidasi regangan besar, *wall resistance* dapat menyebabkan penundaan yang signifikan waktu konsolidasi. Maka dari itu, PVD harus dirancang dengan menghitung minimum kapasitas pelepasan, dengan demikian *wall resistance* dapat diabaikan.

Chu, 2004, merekomendasikan persamaan dibawah ini :

$$q_{w-r\ e\ q} = 7.8\ 5\times\ F\ s\times k_r l_m^2 \quad \text{.....} \quad \text{(2.43)}$$

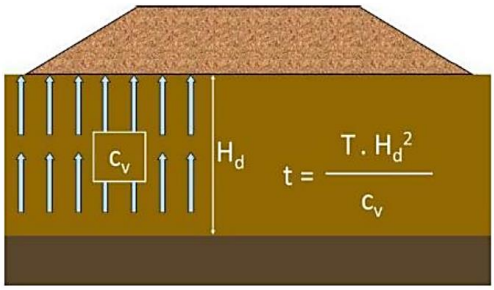
Dengan :

$q_{w\text{-}req}$	= Kapasitas pelepasan minimum	(m^3/s)
k_r	= Permeabilitas radial atau k_h	
l_m	= Kedalaman PVD	(meter)
Fs	= Faktor Keamanan (4-6)	

Hubungan antara kedalaman PVD dengan kapasitas pelepasan minimum dengan mengadopsi faktor keamanan 4

2.10.7 Parameter Tanah untuk Menentukan Waktu Konsolidasi dengan/ Tanpa *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

1. Penentuan waktu konsolidasi tanpa menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*



Gambar 2.22 Proses Konsolidasi Tanpa *Prefabricated Vertical Drain* (Kuswanda, 2015)

$$t = \frac{T \, x \, H_d^2}{c_v} \quad \text{..... (2.44)}$$

Dengan :

t = Waktu konsolidasi tanpa PVD (hari)

H_d = Tebal lapisan tanah lunak/ panjang PVD (meter)

C_v = Koefien konsolidasi vertikal (cm^2/detik)

$$T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_d\ r)^2} \quad \text{.....(2.45)}$$

Dengan :

Tv = *Time Factor*

H_{dr} = Tebal lapisan tanah lunak (meter)

Cv = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

t = Waktu yang dipilih (hari)

Subsidensi dapat memakan waktu lama untuk mengkonsolidasikan suatu area, tetapi PVD dapat mempercepat prosesnya. Karena pengendapan tanah dimulai pada waktu nol (setelah diberi beban). Semua hal di atas mungkin terbukti benar jika PVD tidak digunakan (Gambar 2.22). Banyaknya air pori yang bergerak ke atas melalui lapisan tanah lunak berhubungan langsung dengan besarnya koefisien konsolidasi vertikal (Cv) sepanjang lapisan tanah lunak (Hd). Lamanya waktu yang dibutuhkan lapisan tanah lunak untuk mengkonsolidasi (t) dapat

diperkirakan dengan mengkuadratkan koefisien konsolidasi vertikal (Cv) dan membaginya dengan tebal lapisan tanah lunak (Hd).

2. Penentuan waktu dengan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

   Penentuan waktu konsolidasi oleh Hansbo (1979,1981) merumuskan persamaan waktu penyelesaian konsolidasi dengan saluran *vertical system* dengan menghitung faktor *wall resistance* dan faktor zona *smear*.

   Konsolidasi Horizontal dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

   $C_h = (1-2)x\ C_v$ ..... (2.46)

   Dengan :

   C_h = Konsolidasi horizontal (m^2/hari)

   C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

   $t = \frac{D^2}{8c_h}[F(n) + F_s + F_r]\ l\ n\frac{1}{(1-U_h)}$ ..... (2.47)

   Dengan:

   t = Durasi konsolidasi (hari)

   D = Diameter pengaruh setara PVD (meter)

   C_h = Koefisien konsolidasi horizontal (m^2/hari)

   F_s = Faktor *smear zone*

   F_r = Faktor *wall resistance*

   U_h = Derajat konsolidasi horizontal

   F(n) = Faktor akibat jarak antar PVD

   Konsolidasi dapat terjadi sebagai akibat dari aliran air pori horizontal dan vertikal sebagai respons terhadap sinar ultraviolet. Untuk mengatasi masalah UV ini, kami menggunakan rumus berikut:

   $T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_d\ r)^2}$ ..... (2.48)

   Dengan :

   Tv = Faktor Waktu

   H_{dr} = Panjang PVD (meter)

   Cv = Harga Cv tanah pada lapisan setebal panjang PVD (cm^2/detik)

   t = Waktu yang dipilih (hari)

ü Derajat Konsolidasi Vertikal

Langkah-langkah ini untuk menentukan berapa banyak konsolidasi vertikal (Uv) telah terjadi:

Untuk Uv antara 0 s/d 60%

$$U\ v = \left(2\sqrt{\frac{T\ v}{\pi}}\right) x\ 1\ \ 0\ \ \%$$ ..... (2.49)

Untuk Uv >60%

$$U\ v = (1\ \ 0\ \ 0 - 1\ \ 0^{a})\%$$ ..... (2.50)

Dengan nilai a :

$$a = \frac{1,7\ \ 8 \pm T\ v}{0,9\ \ 3\ \ 3}$$ ..... (2.51)

ü Derajat Konsolidasi Horizontal

Persamaan yang digunakan untuk menentukan derajat konsolidasi horizontal dikembangkan oleh Barron (1984) dan dipublikasikan dalam Bergado (1996).

$$\lambda = \left(\frac{-8T_h}{2F(n)}\right)$$ ..... (2.52)

$$U_h = \left(1 - e\ \ x\ \left(\frac{-8T_h}{2F(n)}\right) x1\ \ 0\ \ 0\right)\%$$ ..... (2.53)

$$T_h = \frac{C_h.t}{D}$$ ..... (2.54)

Dengan :

T_h = Faktor waktu horizontal (hari)

U_h = Derajat konsolidasi horizontal

F(n) = Faktor akibat jarak PVD

t = Waktu ke-n (hari)

D = Diameter jangkauan PVD (meter)

ü Dengan derajat konsolidasi rara-rata U dapat dicari dengan :

$$U = [1 - (1 - Uh).(1 - U\ v)] x\ 1\ \ 0\ \ 0\ \%$$ ..... (2.55)

Dengan :

Uv = Derajat konsolidasi vertikal

Uh = Derajat konsolidasi horizontal

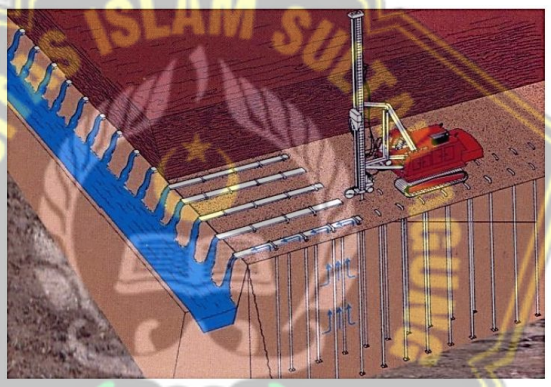
U = Derajat konsolidasi tanah akibat aliran vertical dan radial

Tv	= *Time factor*	(hari)
C_h	= Koefisien konsolidasi horizontal	(m^2/hari)
D	= Diameter tanah yang dipengaruhi PVD	(m)

2.11 *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

2.11.1 Penggunaan *Prefabricated Horizontal Drain*

Prefabricated horizontal drain (PHD) adalah produk geosintetik yang memiliki inti dan filter sebagai bagian komponennya. Fungsi utama dari PHD adalah untuk mempercepat proses konsolidasi tanah dengan membantu pengaliran air pori secara cepat. Air ini dapat dilepaskan baik dengan mengumpulkan dan mengalirkan air atau melalui saluran vertikal yang telah dibangun di tanah lunak.



Gambar 2.23 Fungsi *Prefabricated Horizontal Drain* (Kuswanda, 2015)

Persamaan perencanaan *Prefabricated Horizontal Drain* dapat dihitung dengan cara :

Pemampatan tanah dan lamanya waktu yang dibutuhkan tanah untuk mengkonsolidasikan 95% keduanya merupakan parameter yang diperlukan untuk perhitungan aliran air pori.

Debit air vertikal rata-rata per m^2 tanah :

$$Debit = \frac{Volume\ air}{Waktu\ pengaliran} \quad \text{.....} \quad (2.56)$$

Untuk koreksi debit air vertikal per m^2 tanah dibutuhkan waktu dan besar penurunannya pada U 95% dan U 75%

Debit air per m^2 tanah :

$$Debit = \frac{Volume\ air}{Waktu\ pengaliran} \quad \text{.....} \quad (2.57)$$

Estimasi debit air per 1 titik PVD

Untuk pemasangan PVD pola dan jarak menyesuaikan :

Luas layanan 1 titik PVD :

$$Ae = \frac{\pi}{4}(\text{koefisien pola PVD} \times \text{jarak})^2 \qquad (2.58)$$

Dengan kata lain, setiap titik akhir dari *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengalirkan satu meter persegi area Ae. Oleh karena itu, setiap titik akhir *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengeluarkan debit air vertikal yang setara dengan area layanan dikalikan debit air yang terjadi per meter persegi lahan. Jumlah maksimum titik akhir yang dapat diakomodasi oleh satu lajur *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) untuk *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) Dua Jalur untuk *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Panjang maksimum satu lajur *prefabrikasi horizontal drain* (PHD) yang dapat menampung *prefabricated vertical drain* (PVD). Jumlah ujung *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* =

$$\frac{1/2\ \text{Panjang tanah yang diperbaiki}}{\text{Jarak PVD}} \qquad (2.59)$$

Estimasi debit maksimum aliran air horizontal

Estimasi debit maksimum aliran air horizontal pada 1 lajur *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*

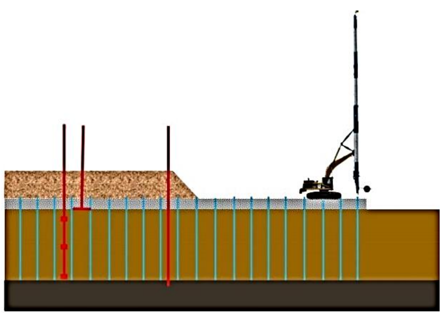
$$Q = N \times q \qquad (2.60)$$

Faktor keamanan perencanaan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.61 sebagai berikut :

$$\text{Faktor Keamanan (SF)} = \frac{\text{Kapasitas PHD CST-SD 100-200}}{\text{Estimasi Debit Maksimum Horizontal}} \qquad (2.61)$$

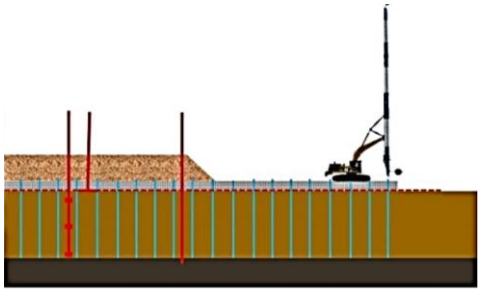
2.11.2 Alternatif *Prefabricated Horizontal Drain*

Pada **Gambar 2.24** merupakan ilustrasi alternatif PHD dengan menggunakan pasir.



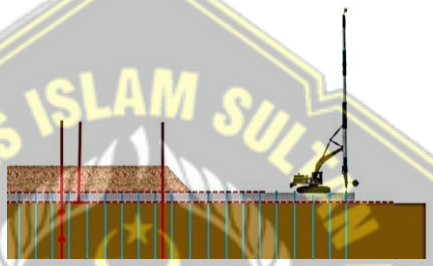
Gambar 2.24 Alternatif PHD ke-1 (Kuswanda, 2015)

Pada **Gambar 2.25** merupakan ilustrasi alternatif PHD dengan menggunakan pasir dan 1 lapis *geotextile* dibawahnya.



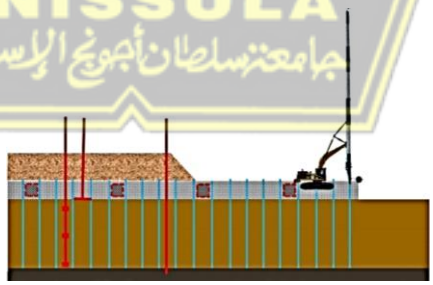
Gambar 2.25 Alternatif PHD ke-2 (Kuswanda, 2015)

Pada **Gambar 2.26** merupakan ilustrasi alternatif PHD dengan menggunakan pasir dan 2 lapis *geotextile* dibawah dan diatas pasir.



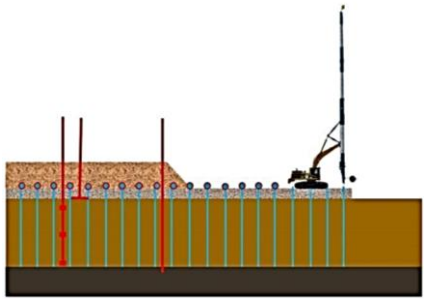
Gambar 2.26 Alternatif PHD ke-3 (Kuswanda, 2015)

Jika permeabilitas koefisien pasir rendah dan PHD harus lebih tebal dan lebih mahal, maka subdrain yang terdiri dari kerikil yang dilapisi geotekstil harus dibangun di dalam pasir. Contoh subdrain jenis ini dapat dilihat pada **Gambar 2.27** berikut:



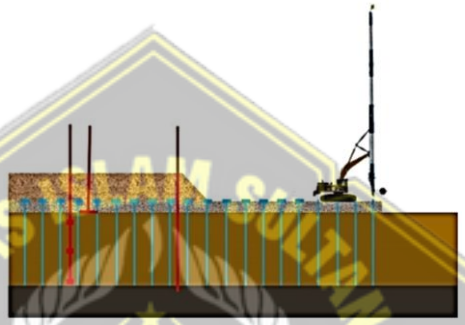
Gambar 2.27 Alternatif PHD ke-4 (Kuswanda, 2015)

Biaya yang sangat tinggi dapat dikaitkan dengan pemanfaatan pasir. Oleh karena itu, PHD terdiri dari pipa berlubang yang telah dibungkus dengan bahan geotekstil seperti **Gambar 2.28**



Gambar 2.28 Alternatif PHD ke-5 (Kuswanda, 2015)

Penggunaan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) dapat dilihat pada **Gambar 2.29** seperti di bawah ini.



Gambar 2.29 Penggunaan PHD (Kuswanda, 2015)

2.12 Geosintetik

2.12.1 Pengertian Geosintetik Jenis Geotekstil

Produk lembaran yang terbuat dari bahan polimer fleksibel dikenal sebagai geosintetik, dan digunakan dalam tanah, batuan, dan bahan geoteknik lainnya sebagai bagian integral dari suatu pekerjaan, struktur, atau sistem. Selain digunakan sendiri, geosintetik dapat dicampur dengan komponen geoteknik lainnya. (ASTM D 4439).

Geosintetik terbagi menjadi beberapa jenis yaitu :

1. *Geotextile*
2. *Geomembrane*
3. *Geo-linear elemen*
4. *Geogrid*
5. *Geocomposites*

Pengelompokan bahan geosintetik dapat dipecah menjadi dua kategori: jaring dan tekstil. Menurut komposisi bahannya, geosintetik ini terdiri dari komponen buatan dan alami. Polimer sintetis digunakan dalam konstruksi

beberapa geosintetik. Berikut ini adalah daftar jenis bahan polimer yang biasanya digunakan dalam produksi serat geotekstil, sebagaimana diuraikan oleh Koerner (2005):

1. *Polypropylene* (PP) (±92%)
2. *Polyester* (PET) (±5%)
3. *Polyamide* (PA) (nylon) (±2%)
4. *Polyethlene* (PE) (±1%)

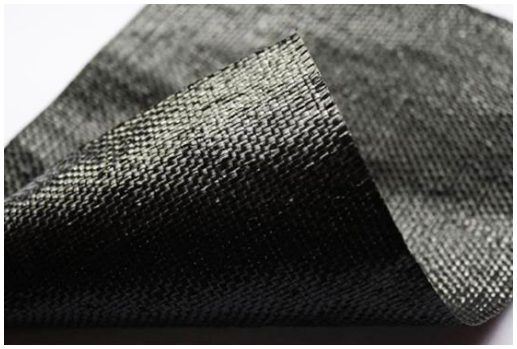
Jean Pierre Girioud sebagai penemu geotekstil. Beliau mempresentasikan konsep tersebut pada Konferensi Geosintetik Internasional pertama pada tahun 1977. Geotekstil kemudian didefinisikan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1989-D 4439-87) sebagai "setiap bahan tekstil permeabel yang digunakan dengan pondasi, tanah... dll." Karena itu, pemahaman dasar geotekstil, yang didasarkan pada kualitas permeabilitas geosintetik, dapat dibagi menjadi dua kategori: kedap air dan permeabel air. Manfaatkan varietas geosintetik dari geotekstil yang dihasilkan dari bahan tekstil untuk yang tahan air. Adapun yang tahan air, menggunakan bentuk geosintetik geomembran, yang sering digunakan sebagai penghalang cairan.

Geotekstil adalah jenis bahan yang dapat menyerap air baik di permukaan maupun di lapisan yang memanjang lebih jauh ke dalam bahan. Karena ketika aspal diterapkan di atas geotekstil, maka ia melakukan tugas-tugas lapisan pemisah, lapisan filtrasi, drainase, perkuatan tanah, dan penghalang kelembaban.

Macam - macam geotekstil ada 2 yaitu:

1. Teranyam (*Woven*)

   Geotekstil *woven* adalah lembaran bahan geotekstil kekuatan tarik tinggi yang dibuat dari komponen serat sintetis tenunan dengan tambahan pelindung anti-ultraviolet. Lembaran geotekstil ini dikembangkan sebagai solusi atas tantangan peningkatan kualitas tanah. Kekuatan tarik geotekstil yang dianyam lebih besar daripada geotekstil yang tidak dianyam. Monofilamen, benang fibrilasi, dan pita adalah tiga komponen yang membentuk geotekstil tenunan. Berikut merupakan gambar geotekstil *woven* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.30**.



Gambar 2.30 Geotekstil *Woven*

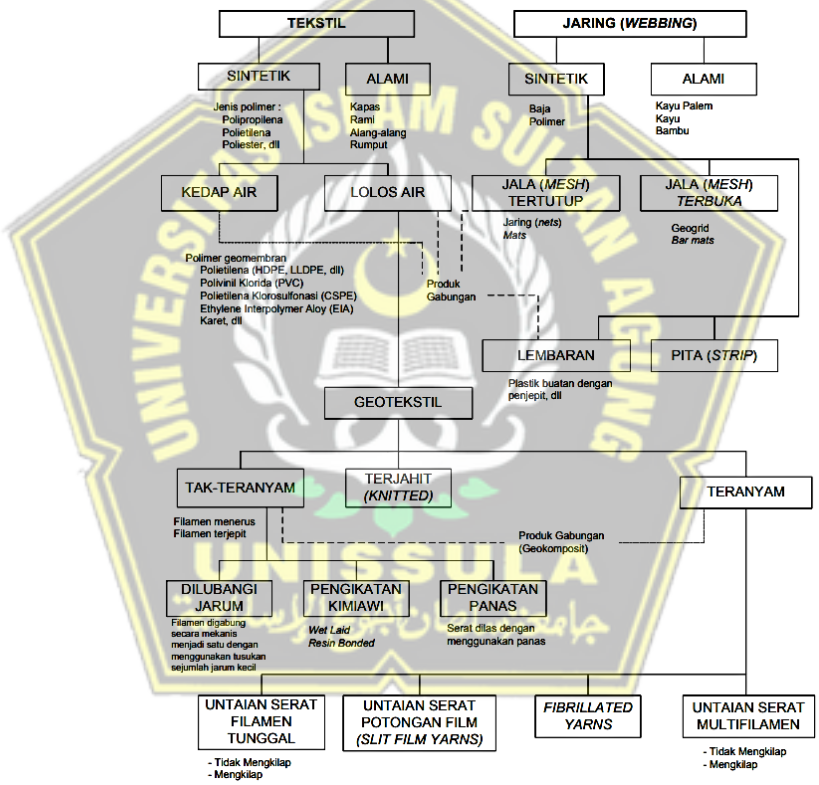
2. Tak Teranyam (*Non woven*)

Pembentukan struktur tekstil bergantung pada pembentukan hubungan antar serat, yang dapat berupa serat pendek atau monofilamen. Ikatan ini dapat dibuat secara mekanis, termal, atau dengan pelarut, atau kombinasi dari faktor-faktor ini (Krema, 1971). Komponen utama dalam produksi kain bukan tenunan adalah serat buatan, yang setelah diperkuat secara mekanis dengan perekat atau jarum, ditenun menjadi kain. Dalam produksi geotekstil non-woven, ada empat proses berbeda yang dapat digunakan: metode *needle-stick*, proses *melt-bond*, teknik *spun bond*, dan proses *bonding* menggunakan bahan perekat.

Teknologi *needle punch* digunakan untuk memproduksi geotekstil non-woven yang memiliki kekakuan serat yang tinggi, permeabilitas yang baik, dan kekuatan tarik yang kuat. Hal ini dikarenakan bagian komponennya merupakan serat stapel yang diperkuat dengan anyaman acak menggunakan jarum. Selain itu dipengaruhi oleh kerapatan jarum dan kecepatan penyisipan yang keduanya mempengaruhi kontak antar serat stapel sehingga memungkinkan kain dapat dimanfaatkan dalam area yang luas (Hasan, 2018). Berikut merupakan gambar geotekstil *nonwoven* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.31.**

Gambar 2.31 Geotekstil *Non Woven*

Berikut merupakan klasifikasi geosintetik yang ditunjukkan pada **Gambar 2.32**



Gambar 2.32 Klasifikasi Geosintetik (Hotlz dkk, 1998)

2.12.2 Fungsi Geosintetik dan Pengaplikasiannya

Terdapat fungsi primer dan fungsi sekunder yang dapat dilakukan oleh geosintetik; kedua fungsi ini diperhitungkan saat menghitung dan menetapkan persyaratan perencanaan.

Geosintetik mempunyai 6 (enam) fungsi yaitu :

1. Filtrasi atau Penyaring

   Geosintetik dapat digunakan sebagai filter untuk mencegah partikel berpindah melalui filter sekaligus menyalurkan air ke sistem drainase. Biasanya digunakan dalam proyek konstruksi subdrain (drainase bawah tanah).

2. *Separator*

   Geosintetik memiliki kemampuan, dalam kapasitasnya sebagai separator atau pemisah, untuk menghindari tercampurnya satu lapisan material dengan lapisan material lain yang berbeda. Dalam kebanyakan kasus, ini digunakan dalam operasi pembangunan jalan yang berlangsung di medan lunak. Geotekstil digunakan dalam proses perencanaan perbaikan tanah lunak di Jalan Tol Semarang-Demak. Bahan-bahan ini mencegah lumpur naik ke sistem perkerasan, yang membantu menjaga integritas dan ketebalan rencana struktur jalan dan memastikan bahwa tidak ada efek pemompaan yang dapat dengan mudah merusak perkerasan jalan.

3. *Stabilization* atau Stabilisator

   Fungsi geosintetik berfungsi sebagai perkuatan atau perkuatan dan digunakan untuk menahan regangan atau deformasi pada konstruksi tanah, perkuatan lereng, dan sebagainya.

4. Proteksi

   Bahan geosintetik dapat digunakan sebagai pengganti karung goni pada proses *curing* beton mencegah terjadinya retak - retak pada proses pengeringan beton baru.

Jadi, untuk perencanaan perbaikan tanah lunak ini menggunakan geosintetik jenis geotekstil yang berfungsi sebagau separator untuk mencegah tejadi pencampuran dua material yang tidak sejenis.

2.12.3 Instrumentasi Geoteknik

Instrumen geoteknik dalam pekerjaan Prefabricated Vertical Drain (PVD) dan Prefabricated Horizontal Drain (PHD) berfungsi untuk mengidentifikasi dan

memantau pelaksanaan dan hasil pekerjaan perbaikan tanah yang telah diselesaikan.

1. *Settlement Plate*

   Settlement Plate digunakan untuk menghitung jumlah tanah yang telah tenggelam di bawah permukaan planet. Tujuan yang ditujukan oleh instrumen ini adalah untuk mengawasi pelat turun yang dipantau oleh *watterpass* dan untuk menghasilkan data yang dapat diplot untuk menggambarkan hubungan waktu-penurunan.

2. *Pneumatic Piezometer*

   Pneumatic Piezometer diterapkan pada tugas mengukur tekanan air pori tanah dasar secara akurat. Gunakan piezometer pneumatik untuk mengumpulkan data untuk alasan pemantauan, dan Anda dapat memplot tekanan air pori terhadap waktu yang dibutuhkan air untuk bergerak melalui tanah.

3. *Inclinometer*

   Inclinometer digunakan untuk menghitung pergerakan lateral tanah dasar untuk menilai potensi tergelincir atau runtuh pada bangunan saat ini. Setelah perangkat dipasang, itu akan ditempatkan di sudut barat daya tepi luar tanggul. Pemantauan inklinometer memerlukan penggunaan alat pemantauan yang disebut inklinometer dan pengumpulan data yang dapat digunakan untuk memplot hubungan antara kedalaman tanah, gerakan lateral, dan deformasi tanah.

2.12.4 Daya Bertahan Geosintetik Saat Konstruksi

Sangat penting bahwa geotekstil dan geogrid dapat tahan terhadap tekanan bangunan. Kekuatan tanggul akan terganggu jika robek, tertusuk, atau terbelah, yang dapat menyebabkan keruntuhannya. Kriteria kelangsungan hidup yang disarankan AASHTO M 288 untuk geotekstil ditampilkan pada **Tabel 2.7.**

Tabel 2.7 Syarat Derajat Daya Bertahan (*Survivability*)

	Alat dengan Tekanan Permukaan Rendah (*Low Ground Pressure*) ≤ 25 kPa (3.6 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Sedang (*Medium Ground Pressure*) 25 kPa – 50 kPa (3.6 psi –7.3 psi)	Alat dengan Tekanan Permukaan Tinggi (*High Ground Pressure*) > 50 kPa (> 7.3 psi)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan kecuali rumput, kayu, daun dan sisa ranting kayu. Permukaan halus dan rata sehingga lubang/gundukan tidak lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup. Alternatif lain, lantai kerja dapat digunakan.	Rendah (Kelas 3)	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)
Tanah dasar telah dibersihkan dari halangan yang lebih besar dari cabang kayu dan batu yang berukuran kecil sampai sedang. Batang dan pangkal/akar pohon harus dipindahkan atau ditutup sebagian dengan lantai kerja. Lubang/gundukan tidak boleh lebih dalam/tinggi dari 450 mm. Lubang yang lebih besar dari ukuran tersebut harus ditutup.	Sedang (Kelas 2)	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)
Diperlukan persiapan lokasi secara minimal. Pohon dapat ditumbangkan, dipotong-potong dan ditinggalkan di tempat. Pangkal/akar pohon harus dipotong dan tidak boleh lebih dari 150 mm diatas tanah dasar. Geotekstil dapat dipasang langsung diatas cabang pohon, pangkal/akar pohon, lubang besar dan tonjolan, saluran dan bolder. Ranting, pangkal/akar, lubang besar dan tonjolan, alur air dan bongkah batu. Benda-benda harus dipindahkan hanya jika penempatan geotekstil dan bahan penutup akan berpengaruh terhadap permukaan akhir jalan.	Tinggi (Kelas 1)	Sangat Tinggi (Kelas 1+)	Tidak Direkomendasikan
Catatan: Syarat derajat daya bertahan (*survivability*) merupakan fungsi dari kondisi tanah dasar, peralatan konstruksi dan tebal penghamparan. Sifat-sifat geotekstil Kelas 1, 2 and 3 ditunjukkan pada Kelas 1+ sifat-sifatnya lebih tinggi dari Kelas 1, tetapi belum terdefinisikan sampai saat ini dan jika digunakan harus disyaratkan oleh Pembeli. Rekomendasi tersebut adalah untuk tebal penghamparan awal antara 150 - 300 mm. Untuk tebal penghamparan awal lainnya: - 300 - 450 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar satu tingkat - 450 - 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar dua tingkat - 600 mm: kurangi syarat daya bertahan sebesar tiga tingkat Untuk teknik konstruksi khusus, seperti pembuatan alur awal (*prerutting*), tingkatkan syarat daya bertahan geotekstil sebesar satu tingkat. Penghamparan awal bahan penutup yang terlalu tebal dapat menyebabkan keruntuhan daya dukung tanah dasar yang lunak.			

(Sumber: AASHTO M 288-06)

Persyaratan kekuatan geotekstil berdasarkan AASHTO M 288 diperlihatkan pada **Tabel 2.8** sebagai berikut.

Tabel 2.8 Persyaratan Kekuatan Geotekstil

Sifat	Metode Uji	Satuan	Kelas Geotekstil [a, b]					
			Kelas 1		Kelas 2		Kelas 3	
			Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]	Elongasi < 50%[c]	Elongasi ≥ 50%[c]
Kuat Grab (*Grab Strength*)	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1400	900	1100	700	800	500
Kuat Sambungan Keliman [d] (*Sewn Seam Strenght*)	ASTM D 4632 RSNI M-01-2005	N	1260	810	990	630	720	450
Kuat Sobek (*Tear Strength*)	ASTM D 4533 SNI 08-4644-1998	N	500	350	400[e]	250	300	180
Kuat Tusuk (*Puncture Strength*)	ASTM D 6241 ISO 12236:2006	N	2750	1925	2200	1375	1650	990

Catatan:

[a] Kondisi saat pemasangan umumnya menentukan kelas geotekstil yang dibutuhkan. Kelas 1 dikhususkan untuk kondisi yang parah dimana potensi terjadinya kerusakan geotekstil lebih tinggi, sedangkan Kelas 2 dan Kelas 3 adalah untuk kondisi yang tidak terlalu parah.

[b] Semua nilai syarat kekuatan menunjukkan Nilai Gulungan Rata-rata Minimum dalam arah utama terlemah.

[c] Ditentukan berdasarkan ASTM D 4632 atau RSNI M-01-2005.

[d] Jika dibutuhkan sambungan keliman (*sewn seam*).

[e] Nilai Gulungan Rata-rata Minimum kuat sobek yang dibutuhkan untuk geotekstil filamen tunggal teranyam (*woven monofilamen geotextile*) adalah 250 N.

(Sumber: AASHTO M 288-06)

BAB III

METODOLOGI PENULISAN

3.1 Pendahuluan

Metodologi adalah langkah - langkah sistematis yang perlu dilakukan, disusun dan dikerjakan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dan memenuhi syarat pada saat melakukan suatu kajian. Tahapan metode kajian dilakukan efektif dan efisien yang mendukung tergantung dari realitas yang akan dikaji pada laporan.

Tugas akhir ini akan menganalisis atau menyelidiki tentang perbaikan tanah lunak dengan menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD*)*, *Prefabricated Hotizontal Drain* (PHD), dan geotekstil dengan studi kasus Tol Semarang - Demak.

3.2 Tahap Persiapan

Tahap pendahuluan ini terdiri dari serangkaian langkah yang dipersiapkan sebelum memulai proses penyusunan dan pengolahan laporan. Pada titik ini, semuanya diatur agar pelaporan dapat dilakukan dengan sukses dan tepat waktu, serta kegiatan. Tahapan persiapan tersebut antara lain yang tercantum di bawah ini:

1. Mengumpulkan berbagai studi pustaka yang berhubungan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan geosintetik.
2. Menentukan kebutuhan data apa saja yang akan diolah.
3. Pengumpulan data literatur dari berbagai narasumber.

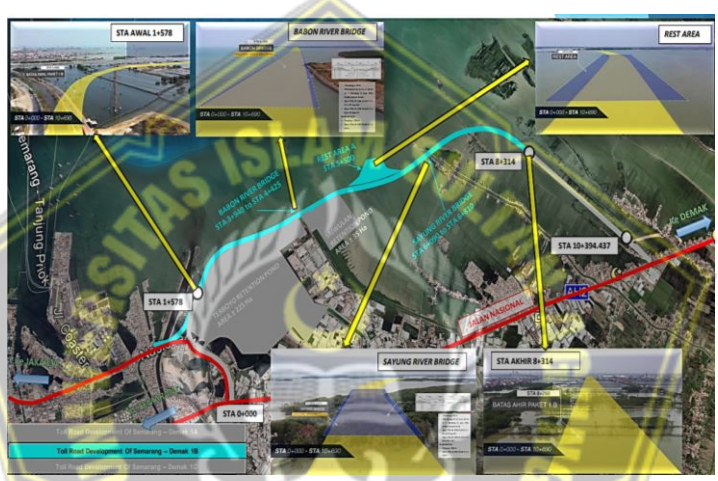
3.3 Wilayah Studi

Lokasi wilayah sebagai studi kasus laporan ini berada di Kota Semarang dan Kabupaten Demak, Jawa Tengah.

Jalan Tol Semarang - Demak yang membentang dari Barat ke Timur dengan batas - batas wilayah sebagai berikut :

a. Batas Utara : Laut Jawa
b. Batas Timur : Kabupatan Demak
c. Batas Selatan: Kecamatan Pedurungan
d. Batas Barat : Kecamatan Gayamsari

Panjang jalur yang ini adalah 27 kilometer. Tol ini akan memperbaiki jalan dan mengurangi kemacetan di jalur pantai utara yang mengarah ke kota wisata Demak, khususnya Makam Sunan Kalijaga, Kadilangu, dan Masjid Agung Demak. Selain itu juga akan melengkapi jaringan jalan tol yang ada di Provinsi Jawa Tengah, serta pembangunan tanggul laut di daerah tersebut. ke utara Kota Semarang dan dengan maksud untuk menyelesaikan masalah banjir rob. **Gambar 3.1** menunjukkan lokasi proyek Jalan Tol Semarang – Demak. Data angka tersebut berasal dari informasi operasional pembangunan jalan Tol Semarang – Demak 1b yang merupakan unit kerja yang bertanggung jawab atas pelaksanaan pembangunan jalan Tol Semarang – Demak.



Gambar 3.1 Lokasi Proyek Tol Semarang-Demak

3.4 Metode Analisis Data

Dalam tahapan analisis data ini, untuk dapat menganalisis diperlukan data atau informasi dengan cara metode literatur yaitu pengumpulan data, mengidentifikasi dan mengolah data.

3.3.1 Sumber Data

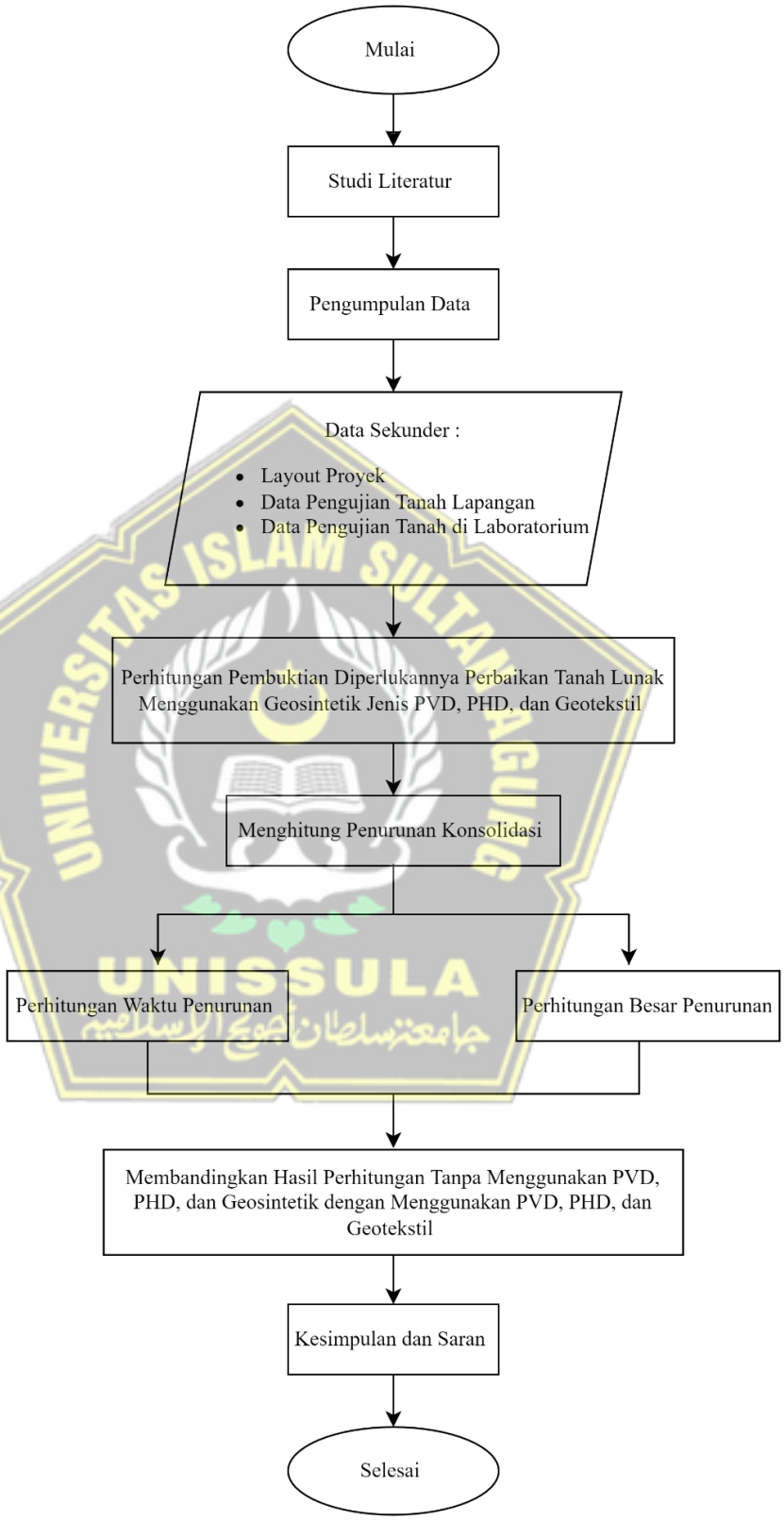
Sebagai sumber data untuk kebutuhan laporan ini, kami menggunakan data dari Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak.

3.3.2 Analisis Data

Tahap - tahap analisis yang dikumpulkan untuk informasi yaitu :

1. Data tanah yang diperoleh dari instansi
2. Standar yang dipakai dalam perencanaan
3. Parameter tanah yang digunakan

3.5 Bagan Alir (*flowchart*) Tahapan Kajian



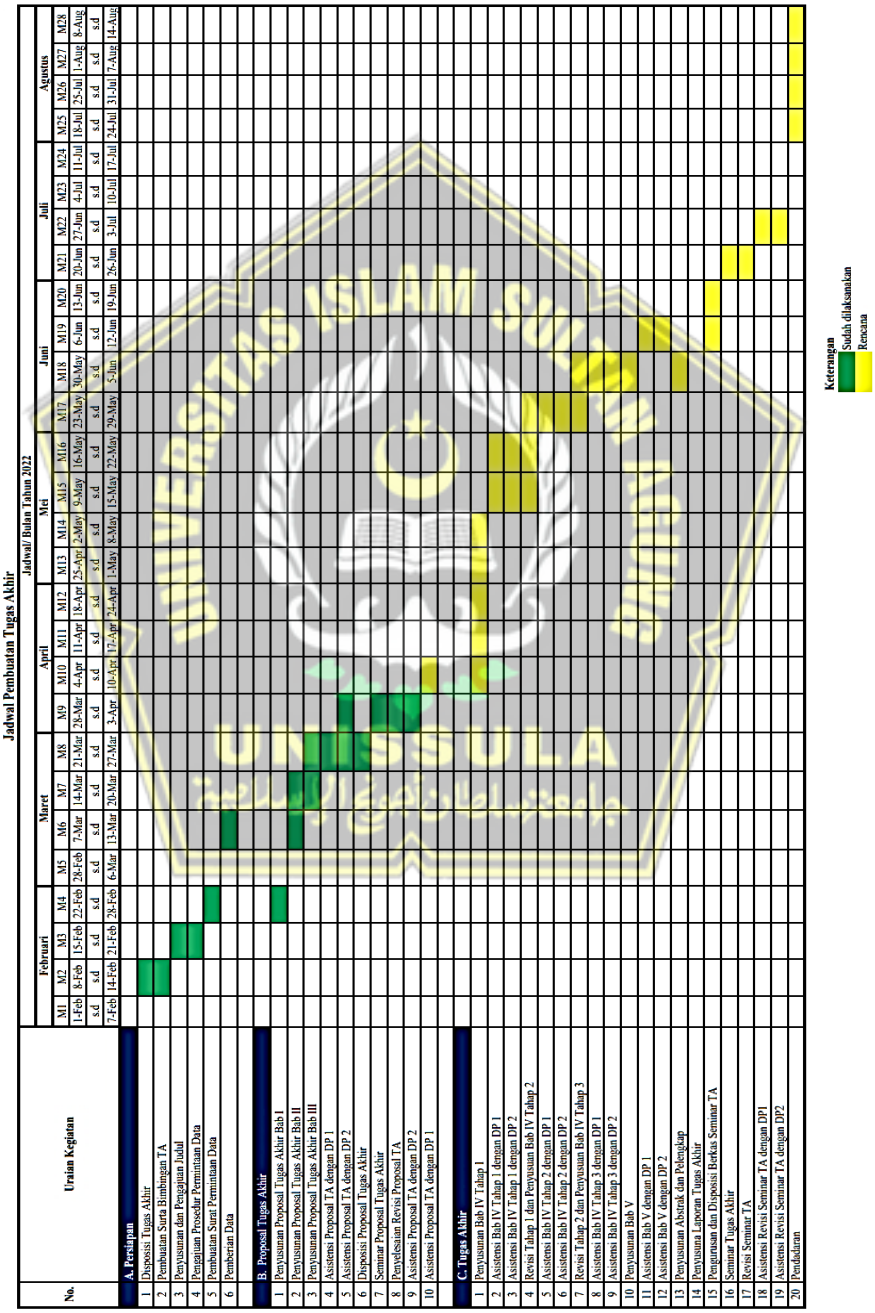
Gambar 3.2 Bagan Alir Tahapan Kajian

3.6 Penyusunan Laporan serta Format Penggambaran

Penyusunan laporan tugas akhir kami ini disesuaikan dengan "Pedoman Penyusunan dan Penulisan Tugas Akhir" Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik UNISSULA 2022 yang terdiri dari syarat-syarat dan jenis tugas akhir, sistematika penulisan, penggunaan bahasa, dan bentuk atau pengaturan laporan.

3.7 Jadwal Pembuatan Tugas Akhir

Tabel 3.1 Jadwal Pembuatan Tugas Akhir Tahun 2022



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

Berdasarkan penurunan tanah daerah Semarang dan sekitarnya (termasuk wilayah Kendal dan Demak) tidak diketahui bahwa laju penurunan muka tanahnya bervariasi antara 1,0-10,0 sentimeter pertahun. Penurunan tanah daerah Semarang diketahui sejak tahun 1980-an, sedangkan daerah Demak dan Kendal dimulai tahun 1990-an. Penyebab penurunan diduga karena eksploitasi tanah dan konsolidasi.

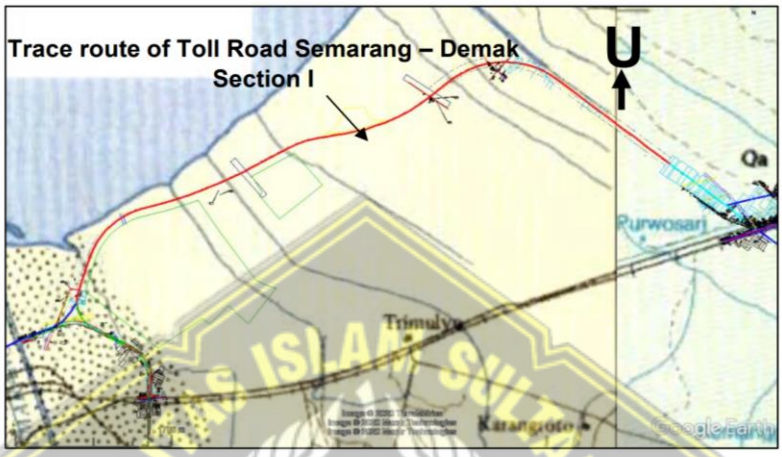
Tabel 4.1 Data Penurunan Tanah di Wilayah Semarang dan Sekitarnya (Termasuk Wilayah Kendal dan Demak)

Lokasi	Penurunan Tanah Rata-rata (2008-2012) (cm/thn)	Penurunan Tanah Rata-rata (2012-2018) (cm/thn)	Keterangan
Pesisir Kendal	1.0 – 4.0	1.0 – 4.0	Konstan
Semarang Bagian Barat	3.0 – 5.0	5.0 – 8.0	Cepat
Semarang Bagian Utara	5.0 – 8.0	10.0 – 15.0	Cepat
Semarang Bagian Tengah	1.0 – 4.0	1.0 – 5.0	Konstan
Semarang Bagian Timur	5,0-8,0	10,0-19,0	Cepat
Demak Bagian Barat	5,0-8,0	5,0-8,0	Konstan
Demak Bagian Timur	1,0-5,0	1,0-5,0	Konstan

(Sumber: Data Proyek Tol Semarang-Demak)

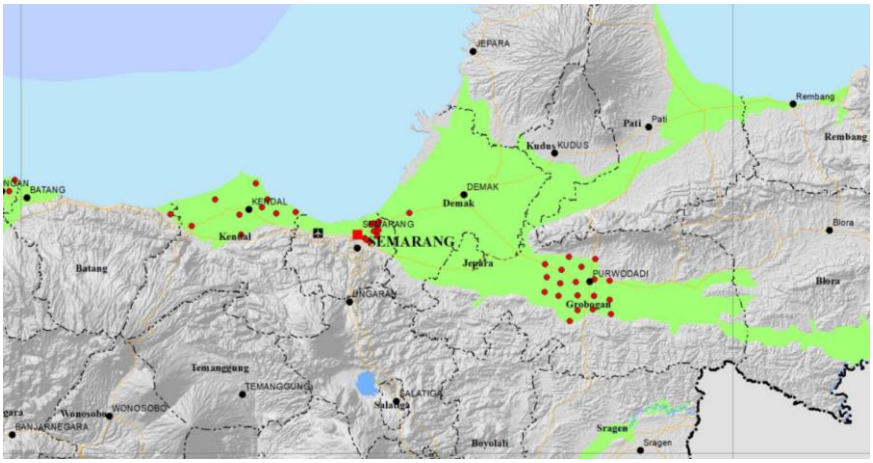
4.2 Kondisi Lapisan Tanah

Menurut lembar peta geologi Magelang dan Semarang, Jawa oleh Robert E. Thaden, Harli Sumardirdja, dan Paul W. Richards (1975) dan Kudus, Jawa oleh T. Suwarti dan R. Wikarno (1992) pada Gambar 4.1, yang kami peroleh Dari data proyek Tol Semarang – Demak, wilayah proyek Tol Semarang – Demak terletak pada formasi alluvium (Qa) yang sangat muda (periode Holosen).



Gambar 4.1 Peta Geologi Tol Semarang-Demak

Selanjutnya mengacu pada atlas sebaran tanah lunak Indonesia (Badan Geologi Tahun 2019) pada **Gambar 4.2** yang kami dapatkan dari data Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi bahwa lokasi proyek berada di daerah tanah lempung lunak. Sebaran tanah lunak umumnya menempati dataran pasang surut, dataran alluvial sungai, dataran banjir, dan dataran rawa, dengan kemiringan lereng <2%. Sedimen endapan umumnya berupa berupa lempung, lanau dan setempat-setempat terdapat pasir, serta komposisi campuran dengan konsistensi sangat lunak (keluar di antara jari-jari tangan jika diremas dalam kepalan tangan) sampai lunak (mudah dibentuk apabila ditekan dengan jari tangan). Jenis tanah di kawasan ini juga memiliki kompresibilitas tinggi (indeks kompresibilitas tercatat dari peta atlas Indonesia wilayah Jawa Tengah: 0,26-1,27) dan daya dukung yang umumnya rendah, sehingga saat pembuatan tanggul laut dapat menimbulkan kendala perosokan (*settlement*) atau ketidakstabilan (daya dukung). Masalah geologi lainnya yaitu *land sidence* yang terjadi regional di wilayah Semarang bagian utara.



Gambar 4.2 Peta Atlas Wilayah Jawa Tengah

4.2.1 Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi data sekunder yang berasal dari sondir, N-SPT, CPT, dan hasil uji laboratorium. Berdasarkan sampel tanah yang dikumpulkan di lokasi pengeboran DB-094, yang terletak antara STA 8+200 dan 8+250, satu zona tanah telah dibuat. Lokasi pengeboran dan SPT ditampilkan pada **Gambar 4.3**. Data untuk proyek jalan tol Semarang – Demak memberikan kami grafik ini.

Gambar 4.3 Lokasi Pengeboran dan SPT

Berikut merupakan gambar existing lokasi pekerjaan ditunjukkan pada **Gambar 4.4**. Gambar ini kami dapatkan dari data proyek Tol Semarang – Demak.

Gambar 4.4 Gambar Existing Lokasi Pekerjaan

Pada titik bor DB-094, kedalaman pengambilan sampel 23,55 m. Data sondir, N-SPT, CPT dan hasil uji laboratorium yang diperoleh dapat dilihat pada lampiran 1. Tabel data sekunder tanah dapat dilihat pada **Tabel 4.2** sebagai berikut.

Tabel 4.2 Data Sekunder Tanah

No	Keterangan	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4	Lapisan 5	Lapisan 6	Lapisan 7	Lapisan 8
1	Lokasi	DB	DB-094	DB-094	DB-094	DB-095	DB-096	DB-097	DB-098	DB-099
2	Jenis Tanah		*Very Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*	*Soft Clay*
3	Kadar Air (Wn)	%	50,71	69,74	76,99	77,7	54,57	71,16	73,16	78,73
4	Berat Jenis Tanah (GS)		2,72	2,61	2,65	2,61	2,64	2,57	2,66	2,62
5	Angka Pori (e)		1,37	1,78	1,76	1,76	1,56	1,79	1,98	2,01
6	Berat Volume Kering (γ_d)	gr/cm^2	1,12	0,95	0,88	0,95	1,02	0,92	0,89	0,87
7	Berat Volume Basah (γ_m)	gr/cm^2	1,69	1,61	1,57	1,65	1,63	1,64	1,53	1,55
8	Berat Jenis Tanah (γsat)	kN/m^3	17,9	15,5	16,9	15,7	17,0	16,5	16,9	16,5
9	Berat Jenis Air	kN/m^3	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81	9,81
10	Tebal Lapisan	m	5	3,55	6	1	3	1	3	1
11	Kedalaman	m	0-5	5-8,55	8,55-14,55	14,55-15,55	15,55-18,55	18,55-19,55	19,55-22,55	22,55-23,55
12	Tahanan Ujung Sondir (qc)	gr/cm^2	24000	15003	42000	5027	17148	4900	10430	4933
13	Batas Cair	LL	62,69	91,82	89,45	57,6	97,98	61,40	112,40	82,90
14	Batas Plastis	PL	27,40	31,43	31,45	38,53	31,40	39,01	33,44	35,86
15	Indeks Plastis	IP	35,29	60,39	58,00	19,07	66,58	22,39	78,96	47,04

(Sumber: Data Proyek Tol Semarang - Demak)

4.2.2 Perhitungan Angka Pori dan Hubungan Δe dan ΔH

Hubungan antara Δe dan ΔH dinyatakan menggunakan persamaan 2.12:

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_o}$$

$$\frac{\Delta e}{5} = \frac{2{,}37 + \Delta e}{5}$$

$5\,\Delta e = 5\,(2{,}37 + \Delta e)$

$= 11{,}85 + 5\,\Delta e$

$0\,\Delta e = 11{,}85$

$\Delta e = 0$ (nol)

Hubungan antara Δe dan ΔH dinyatakan oleh :

$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{1+e_o}{H}$

$\frac{\Delta e}{\Delta H} = \frac{2{,}3\ 7}{5}$

Δe = 0,474 ΔH

4.2.3 Perhitungan Indeks Pemampatan (Cc) Untuk Tanah Lempung

Menurut Terzaghi dan Peck (1967)

Cc = 0,009 (LL-10)

= 0,009 x 52,69

= 0,474

Hasil perhitungan angka pori dan indeks pemampatan dapat dilihat pada **Tabel 4.3** sebagai berikut :

Tabel 4.3 Perhitungan Angka Pori dan Indeks Pemampatan

Lapisan	Tebal (m)	Kedalaman	Wn (%)	Gs	e	Δe Sementara	eo (e+Δe)	Hub. Δe dan ΔH		Cc
1	5	0-5	50,71	2,72	1,37	0,000	1,37	0,474	ΔH	0,474
2	3,55	5-8,55	69,74	2,61	1,78	1,974	3,75	0,556	ΔH	0,736
3	6	8,55-14,55	76,99	2,65	1,76	1,937	3,70	0,323	ΔH	0,715
4	1	14,55-15,55	77,7	2,61	1,76	0,190	1,95	0,190	ΔH	0,428
5	3	15,55-18,55	54,57	2,64	1,56	0,494	2,05	0,165	ΔH	0,792
6	1	18,55-19,55	71,16	2,57	1,79	0,150	1,94	0,150	ΔH	0,463
7	3	19,55-22,55	73,16	2,66	1,98	0,457	2,44	0,152	ΔH	0,922
8	1	22,55-23,55	78,73	2,62	2,01	0,134	2,14	0,133	ΔH	0,656

4.2.4 Perhitungan Tegangan Efektif

Kekuatan geser tanah serta setiap perubahan volume atau penurunan yang disebabkan oleh tanah, keduanya dipengaruhi oleh tegangan efektif. Menurunnya muka air tanah merupakan akar penyebab naiknya tingkat tegangan efektif tanah.

Perhitungan tegangan efektif dinyatakan menggunakan persamaan 2.3 :

$\sigma = \sigma' + u$

$\sigma' = (\gamma_{s\ a} . h) - (\gamma_w . h)$

= (17,9 . 5) – (9,81 . 5)

= 40,45 kN/m^2

$u = \gamma_w . h$

= 9,81 . 5

= 49,05 kN/m^2

$\sigma = \sigma' + u$

= 40,45 + 49,05

= 89,5 kN/m^2

Tegangan *overbuden* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 sebagai berikut :

$P_o = \gamma' . H$

$\gamma' = \gamma_{s\ a\ \overline{t}} - \gamma_w$

= 17,9 – 9,81

= 8,09 kN/m^2

$P_o = \gamma' . H$

= 8,09 . 5

= 40,45 kN/m^2

= 412,475 gr/cm^2

4.2.5 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan

Penurunan dikatakan segera jika terjadi dalam situasi di mana tidak ada drainase atau tidak ada perubahan volume. Penurunan ini terjadi tepat setelah beban kerja selesai.

Hasil uji kerucut statik tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan kemungkinan tenggelamnya tanah di wilayah Semarang – Demak. Nilai C ini diusulkan oleh De Beer dan Marten (1957), dan selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan Terzaghi untuk penurunan lapisan tanah yang ditinjau, dengan menggunakan persamaan 2.20 sebagai berikut:

$S_i = \frac{H}{C} \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

1. Timbunan 2 m

   Diambil dari tanah DB - 094 dengan data – data sebagai berikut :

   Contoh Perhitungan :

   γtimbunan = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

   Tinggi timbunan = 2 m = 200 cm

   $\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

   = 1,94 x 200

   = 388 gr/cm^2

   $C = \frac{1{,}5\ x\ q_c}{P_o}$

$= \frac{1{,}5\ x\ 2\ 4\ 0\ 0\ 0}{4\ 1{,}2\ 7\ 5\ 2\ 0\ 8\ 1}$

$= 87{,}278\ gr/cm^2$

Si $= \frac{H}{C}\ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{5\ 0\ 0}{8\ 7{,}2\ 7\ 7\ 9\ 7\ 2\ 8\ 14\ 1{,}2\ 7\ 5\ 2\ 0\ 8\ 1}\ln \frac{4\ 1{,}2\ 7\ 5\ 2\ 0\ 8\ 1}{4\ 1{,}2\ 7\ 5\ 2\ 0\ 8\ 1}$

$= 3{,}798\ cm$

Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan rencana timbunan 2 m dinyatakan pada **Tabel 4.4** sebagai berikut :

Tabel 4.4 Perhitungan Penurunan Segera (Si) dengan Rencana Timbunan 2 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	qc	Po	Δp	Penurunan Segera (Si)
			gr/cm^2	gr/cm^2	gr/cm^2	(cm)
1	0-5	500	24.000	412,475	388	3,798
2	5-8,55	355	15003	205,978	388	3,441
3	8,55-14,55	600	42000	433,787	388	2,640
4	14,55-15,55	100	5027	60,0613	388	1,601
5	15,55-18,55	300	17148	219,953	388	2,608
6	18,55-19,55	100	4900	68,219	388	1,764
7	19,55-22,55	300	10430	216,894	388	4,266
8	22,55-23,55	100	4933	68,219	388	1,752
∑Si						21,869

2. Timbunan 4 m

Diambil dari tanah DB - 094 dengan data – data sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 4 m = 400 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

$= 1{,}94 \times 400$

$= 776\ gr/cm^2$

C $= \frac{1{,}5\ x\ q_c}{P_o}$

$= \frac{1{,}5\ x\ 2\ 4\ 0\ 0\ 0}{4\ 1{,}2\ 7\ 5\ 2\ 0\ 8\ 1}$

= 87,278 gr/cm^2

$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{500}{87,277972814} \ln \frac{41,2752081 + 776}{41,2752081}$

= 6,063 cm

Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan rencana timbunan 4 m dinyatakan pada **Tabel 4.5** sebagai berikut :

Tabel 4.5 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 4 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	qc	Po	Δp	Penurunan Segera (Si)
			gr/cm^2	gr/cm^2	gr/cm^2	(cm)
1	0-5	500	24000	412,475	776	6,063
2	5-8,55	355	15003	205,978	776	5,075
3	8,55-14,55	600	42000	433,787	776	4,237
4	14,55-15,55	100	5027	60,0613	776	2,097
5	15,55-18,55	300	17148	219,953	776	3,874
6	18,55-19,55	100	4900	68,219	776	2,335
7	19,55-22,55	300	10430	216,894	776	6,327
8	22,55-23,55	100	4933	68,219	776	2,109
∑Si						32,117

3. Timbunan 6 m

Diambil dari tanah DB - 094 dengan data – data sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 6 m = 600 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 600

= 1164 gr/cm^2

$C = \frac{1,5\ x\ q_c}{P_o}$

$= \frac{1,5\ x\ 24000}{41,2752081}$

= 87,278 gr/cm^2

$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{500}{87,2779728} \ln \frac{41,4752081 + 1164}{41,4752081}$

= 7,681 cm

Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan rencana timbunan 6 m dinyatakan pada **Tabel 4.6** sebagai berikut :

Tabel 4.6 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 6 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	qc	Po	Δp	Penurunan Segera (Si)
			(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	24000	412,475	1164	7,681
2	5-8,55	355	15003	205,978	1164	6,157
3	8,55-14,55	600	42000	433,787	1164	5,386
4	14,55-15,55	100	5027	60,0613	1164	2,401
5	15,55-18,55	300	17148	219,953	1164	4,718
6	18,55-19,55	100	4900	68,219	1164	2,686
7	19,55-22,55	300	10430	216,894	1164	7,699
8	22,55-23,55	100	4933	68,219	1164	2,668
∑Si						39,396

4. Timbunan 8 m

Diambil dari tanah DB - 094 dengan data – data sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 8 m = 800 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 800

= 1552 gr/cm^2

$C = \frac{1,5 \times q_c}{P_o}$

$= \frac{1,5 \times 24000}{41,4752081}$

= 87,278 gr/cm^2

$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{500}{87,2779728} \ln \frac{41,4752081 + 1552}{41,4752081}$

= 8,942 cm

Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan rencana timbunan 8 m dinyatakan pada **Tabel 4.7** sebagai berikut :

Tabel 4.7 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 8 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	qc	Po	Δp	Penurunan Segera (Si)
			(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	24000	412,475	1552	8,942
2	5-8,55	355	15003	205,978	1552	6,967
3	8,55-14,55	600	42000	433,787	1552	6,285
4	14,55-15,55	100	5027	60,0613	1552	2,620
5	15,55-18,55	300	17148	219,953	1552	5,352
6	18,55-19,55	100	4900	68,219	1552	2,940
7	19,55-22,55	300	10430	216,894	1552	8,729
8	22,55-23,55	100	4933	68,219	1552	2,920
∑Si						44,755

5. Timbunan 10 m

Diambil dari tanah DB - 094 dengan data – data sebagai berikut :

Contoh Perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 10 m = 1000 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 1000

= 1940 gr/cm^2

$C = \frac{1,5 \; x \; q_c}{P_o}$

$= \frac{1,5 \; x \; 24000}{41,2752081}$

= 87,278 gr/cm^2

$S_i = \frac{H}{C} \ln \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{500}{87,27797281} \ln \frac{41,2752081 + 1940}{41,2752081}$

= 9,974 cm

Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan rencana timbunan 10 m dinyatakan pada **Tabel 4.8** sebagai berikut :

Tabel 4.8 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan 10 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	qc	Po	Δp	Penurunan Segera (Si)
			(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	24000	412,475	1940	9,974
2	5-8,55	355	15003	205,978	1940	7,615
3	8,55-14,55	600	42000	433,787	1940	7,022
4	14,55-15,55	100	5027	60,0613	1940	2,792
5	15,55-18,55	300	17148	219,953	1940	5,860
6	18,55-19,55	100	4900	68,219	1940	3,139
7	19,55-22,55	300	10430	216,894	1940	9,553
8	22,55-23,55	100	4933	68,219	1940	3,118
∑Si						49,074

Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan rencana timbunan dapat dilihat pada **Tabel 4.9** sebagai berikut :

Tabel 4.9 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan

Tinggi Timbunan (m)	Penurunan Tanah (cm)
2	21,869
4	32,117
6	39,396
8	44,755
10	49,074

4.2.6 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)

Tanah yang telah mengendap sebagai akibat dari konsolidasi primer menjadi tertekan akibat pergeseran jumlah tanah yang telah jenuh karena air telah ditarik keluar dari pori-pori tanah. Dengan mengacu pada persamaan 2.26

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_0} H$$

$$= \frac{0}{1+1,3\ 7} \text{x } 5$$

= 0 m (nol)

Hasil perhitungan tegangan efektif dan penurunan konsolidasi primer dapat dilihat pada **Tabel 4.10** sebagai berikut :

Tabel 4.10 Perhitungan Tegangan Efektif dan Penurunan Konsolidasi Primer

Lapisan	Kedalaman	Tebal (m)	Kedalaman Efektif	Tegangan Total	Tegangan Efektif	Tegangan Netral	Tegangan Overbudden (gr/cm^2)	Indeks Pemampatan	Penurunan Konsolidasi (m)
			Z (m)	σ	σ'	u	Po	Cc	Sc
1	0-5	5	2,5	89,5	40,45	49,05	412,475	0,474	0,000
2	5-8,55	3,55	1,775	55,025	20,20	34,826	205,978	0,736	1,474
3	8,55-14,55	6	3	101,4	42,54	58,86	433,787	0,715	2,474
4	14,55-15,55	1	0,5	15,7	5,89	9,81	60,061	0,428	0,064
5	15,55-18,55	3	1,5	51	21,57	29,43	219,953	0,792	0,485
6	18,55-19,55	1	0,5	16,5	6,69	9,81	68,219	0,463	0,051
7	19,55-22,55	3	1,5	50,7	21,27	29,43	216,894	0,922	0,399
8	22,55-23,55	1	0,5	16,5	6,69	9,81	68,219	0,656	0,042

4.2.7 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan

Penurunan yang terjadi sebagai akibat dari konsolidasi primer adalah kompresi yang terjadi sebagai akibat dari perubahan volume tanah jenuh sebagai akibat langsung dari keluarnya air dari pori-pori dalam tanah. Dengan mengacu pada persamaan 2.27

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$$

1. Timbunan 2 m

   Diambil dari tanah DB – 094 dengan data – data tanah sebagai berikut:

   Contoh perhitungan :

   $\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

   Tinggi timbunan = 2 m = 200 cm

   $\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

   = 1,94 x 200

   = 388 gr/cm^2

   PI $= P_o + \Delta P$

   = 412,4752 x 388

   = 800,475

   $S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o'+\Delta P}{P_o'}$

   $= \frac{0,474}{1+1,37} 1 \log \frac{412,4752+388}{412,4752}$

   $= \frac{0,474}{2,37} 1 \log \frac{800,4752}{412,4752}$

   = 5,762 cm

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan rencana timbunan 2 m dinyatakan pada **Tabel 4.11** sebagai berikut :

Tabel 4.11 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 2 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	eo	Cc	Po	Δp	Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
					(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	1,37	0,474	412,475	388	5,762
2	5-8,55	355	3,754	0,736	205,978	388	7,125
3	8,55-14,55	600	3,697	0,715	433,787	388	4,224
4	14,55-15,55	100	1,950	0,428	60,0613	388	12,675
5	15,55-18,55	300	2,054	0,792	219,953	388	11,448
6	18,55-19,55	100	1,940	0,463	68,219	388	12,984
7	19,55-22,55	300	2,437	0,922	216,894	388	11,943
8	22,55-23,55	100	2,144	0,656	68,219	388	17,225
						∑Sc	83,386

2. Timbunan 4 m

Diambil dari tanah DB – 094 dengan data – data tanah sebagai berikut:

Contoh perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 4 m = 400 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 400

= 776 gr/cm^2

$PI = P_o + \Delta P$

= 412,4752 x 776

= 1188,475

$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{0,474}{1+1,37} 1000 \log \frac{412,4752 + 776}{412,4752}$

$= \frac{0,474}{2,37} 1000 \log \frac{1188,475}{412,4752}$

= 9,196 cm

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan rencana timbunan 4 m dinyatakan pada **Tabel 4.12** sebagai berikut :

Tabel 4.12 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 4 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	eo	Cc	Po	Δp	Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
					(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	1,37	0,474	412,475	776	9,196
2	5-8,55	355	3,754	0,736	205,978	776	10,507
3	8,55-14,55	600	3,697	0,715	433,787	776	6,781
4	14,55-15,55	100	1,950	0,428	60,0613	776	16,610
5	15,55-18,55	300	2,054	0,792	219,953	776	17,007
6	18,55-19,55	100	1,940	0,463	68,219	776	17,189
7	19,55-22,55	300	2,437	0,922	216,894	776	17,713
8	22,55-23,55	100	2,144	0,656	68,219	776	22,803
						∑Sc	117,806

3. Timbunan 6 m

Diambil dari tanah DB – 094 dengan data – data tanah sebagai berikut:

Contoh perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 6 m = 600 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 600

= 1164 gr/cm^2

$PI = P_o + \Delta P$

= 412,4752 x 1164

= 1576,475

$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{0,474}{1+1,37} 1000 \log \frac{412,4752 + 1164}{412,4752}$

$= \frac{0,474}{2,37} 1000 \log \frac{1576,475}{412,4752}$

= 11,651 cm

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan rencana timbunan 6 m dinyatakan pada **Tabel 4.13** sebagai berikut :

Tabel 4.13 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 6 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	eo	Cc	Po	Δp	Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
					(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	1,37	0,474	412,475	1164	11,651
2	5-8,55	355	3,754	0,736	205,978	1164	25,568
3	8,55-14,55	600	3,697	0,715	433,787	1164	8,621
4	14,55-15,55	100	1,950	0,428	60,0613	1164	19,014
5	15,55-18,55	300	2,054	0,792	219,953	1164	20,711
6	18,55-19,55	100	1,940	0,463	68,219	1164	19,772
7	19,55-22,55	300	2,437	0,922	216,894	1164	21,554
8	22,55-23,55	100	2,144	0,656	68,219	1164	26,231
						∑Sc	153,123

4. Timbunan 8 m

Diambil dari tanah DB – 094 dengan data – data tanah sebagai berikut:

Contoh perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 8 m = 800 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 900

= 1552 gr/cm^2

$PI = P_o + \Delta P$

= 412,4752 x 1552

= 1964,475

$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{0,474}{1+1,37} 1000 \log \frac{412,4752 + 1552}{412,4752}$

$= \frac{0,474}{2,37} 1000 \log \frac{1964,475}{412,4752}$

= 13,563 cm

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan rencana timbunan 8 m dinyatakan pada **Tabel 4.14** sebagai berikut :

Tabel 4.14 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 8 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	eo	Cc	Po	Δp	Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
					(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	1,37	0,474	412,475	1552	13,563
2	5-8,55	355	3,754	0,736	205,978	1552	14,425
3	8,55-14,55	600	3,697	0,715	433,787	1552	10,058
4	14,55-15,55	100	1,950	0,428	60,0613	1552	20,751
5	15,55-18,55	300	2,054	0,792	219,953	1552	23,494
6	18,55-19,55	100	1,940	0,463	68,219	1552	21,643
7	19,55-22,55	300	2,437	0,922	216,894	1552	24,438
8	22,55-23,55	100	2,144	0,656	68,219	1552	28,712
						∑Sc	157,084

5. Timbunan 10 m

Diambil dari tanah DB – 094 dengan data – data tanah sebagai berikut:

Contoh perhitungan :

$\gamma_{timbunan}$ = 0,00194 kg/cm^2 = 1,94 gr/cm^2

Tinggi timbunan = 10 m = 1000 cm

$\Delta P = \gamma_{timbunan} \times H_{timbunan}$

= 1,94 x 1000

= 1940 gr/cm^2

$PI = P_o + \Delta P$

= 412,4752 x 1940

= 2352,475

$S_c = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o' + \Delta P}{P_o'}$

$= \frac{0,474}{1+1,37} 1000 \log \frac{412,475 + 1940}{412,475}$

$= \frac{0,474}{2,37} 1000 \log \frac{2352,475}{412,475}$

= 15,129 cm

Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan rencana timbunan 10 m dinyatakan pada **Tabel 4.15** sebagai berikut :

Tabel 4.15 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan 10 m

Lapisan	Kedalaman (m)	Tebal Lapisan (cm)	eo	Cc	Po	Δp	Penurunan Konsolidasi Primer (Sc)
					(gr/cm^2)	(gr/cm^2)	(cm)
1	0-5	500	1,37	0,474	412,475	1940	15,129
2	5-8,55	355	3,754	0,736	205,978	1940	15,766
3	8,55-14,55	600	3,697	0,715	433,787	1940	11,238
4	14,55-15,55	100	1,950	0,428	60,0613	1940	22,111
5	15,55-18,55	300	2,054	0,792	219,953	1940	39,474
6	18,55-19,55	100	1,940	0,463	68,219	1940	23,110
7	19,55-22,55	300	2,437	0,922	216,894	1940	26,747
8	22,55-23,55	100	2,144	0,656	68,219	1940	30,658
						∑Sc	184,234

Perhitungan penurunan konsolidasi primer (S_c) dengan rencana timbunan dinyatakan pada **Tabel 4.16** sebagai berikut :

Tabel 4.16 Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer (S_c) dengan Rencana Timbunan

Tinggi Timbunan (m)	Penurunan Tanah (cm)
2	83,386
4	117,806
6	153,123
8	157,084
10	184,234

4.2.8 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan

Perhitungan penurunan total menggunkan persamaan 2.18 sebagai berikut :

$S_t = S_i + S_c$

Dengan :

S_t = Penurunan total (meter)

S_i = Penurunan segera (meter)

S_c = Penurunan akibat konsolidasi primer (meter)

Perhitungan penurunan total (S_t) dengan rencana timbunan 2 m dapat dilihat pada **Tabel 4.17** sebagai berikut :

Tabel 4.17 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 2 m

Lapisan	Si	Sc	St
1	3,798	5,762	9,560
2	3,441	7,125	10,566
3	2,640	4,224	6,864
4	1,601	12,675	14,276
5	2,608	11,448	14,057
6	1,764	12,984	14,747
7	4,266	11,943	16,209
8	1,752	17,225	18,977
		∑St	105,255

Perhitungan penurunan total (S_t) dengan rencana timbunan 4 m dapat dilihat pada **Tabel 4.18** sebagai berikut :

Tabel 4.18 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 4 m

Lapisan	Si	Sc	St
1	6,063	9,196	15,258
2	5,075	10,507	15,581
3	4,237	6,781	11,019
4	2,097	16,610	18,707
5	3,874	17,007	20,881
6	2,335	17,189	19,524
7	6,327	17,713	24,040
8	2,109	22,803	24,912
		∑St	149,923

Perhitungan penurunan total (S_t) dengan rencana timbunan 6 m dapat dilihat pada **Tabel 4.19** sebagai berikut :

Tabel 4.19 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 6 m

Lapisan	Si	Sc	St
1	7,681	11,651	19,332
2	6,157	25,568	31,725

Lanjutan **Tabel 4.19** Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 6 m

Lapisan	Si	Sc	St
3	5,386	8,621	14,007
4	2,401	19,014	21,416
5	4,718	20,711	25,430
6	2,686	19,772	22,458
7	7,699	21,554	29,253
8	2,668	26,231	28,899
		∑St	192,519

Perhitungan penurunan total (S_t) dengan rencana timbunan 8 m dapat dilihat pada **Tabel 4.20** sebagai berikut :

Tabel 4.20 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 8 m

Lapisan	Si	Sc	St
1	8,942	14,425	23,366
2	6,967	14,425	21,391
3	6,285	10,058	16,342
4	2,620	20,751	23,372
5	5,352	23,494	28,847
6	2,940	21,643	24,583
7	8,729	24,438	33,166
8	2,920	28,712	31,633
		∑St	202,700

Perhitungan penurunan total (S_t) dengan rencana timbunan 10 m dapat dilihat pada **Tabel 4.21** sebagai berikut :

Tabel 4.21 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 10 m

Lapisan	Si	Sc	St
1	9,974	15,129	25,103
2	7,615	15,766	23,381
3	7,022	11,238	18,260
4	2,792	22,111	24,904
5	5,860	39,474	45,335
6	3,139	23,110	26,249

Lanjutan **Tabel 4.21** Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan 10 m

Lapisan	Si	Sc	St
7	9,553	26,747	36,300
8	3,118	30,658	33,777
		∑St	233,308

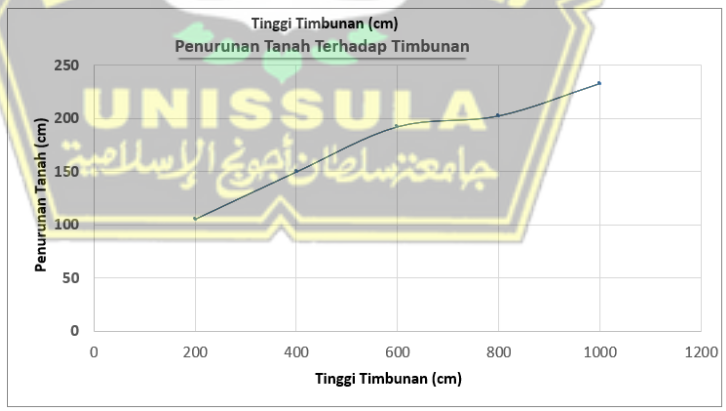
Perhitungan penurunan total (St) dengan rencana timbunan dapat dilihat pada **Tabel 4.22** sebagai berikut :

Tabel 4.22 Perhitungan Penurunan Total (St) dengan Rencana Timbunan

Tinggi Timbunan (cm)	Penurunan Tanah (cm)
200	105,255
400	149,923
600	192,519
800	202,700
1000	233,308

Grafik penurunan tanah total terhadap rencana timbunan dapat dilihat pada **Gambar 4.5** sebagai berikut :

Gambar 4.5 Grafik Penurunan Tanah dengan Rencana Timbunan



4.2.9 Menentukan Waktu Penurunan Tanpa PVD

Menghitung *Time Factor* dengan mengacu pada persamaan 2.45 :

$$T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_d\ v)^2}$$

Dengan :

Tv = *Time Factor*

H_{dr} = Tebal lapisan tanah lunak (meter)

Cv = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

t = Waktu yang dipilih (hari)

Menghitung Derajat Konsolidasi dengan mengacu pada persamaan 2.15 :

$$U_v = \frac{\sqrt{\frac{4xT_v}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)0,1\ 7\ 9}$$

Dengan:

T_v = *Time factor*

Menghitung penurunan total mengacu pada persamaan 2.33 :

$$S = U_v x S_t$$

Dengan :

S = Penurunan total (meter)

U_v = Derajat konsolidasi (%)

S_t = Penurunan total (meter)

Penurunan tanah total dengan rencana tinggi timbunan dapat dilihat pada **Tabel 4.22** untuk menghitung penurunan tanpa PVD.

¶ $T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_{d\ r})^2}$

$= \frac{0,0\ 0\ 7\ 7 x 1}{2\ 3,5\ 5}$

$= 0,0\ 0\ 0\ 3\ 3$

¶ $U_v = \frac{\sqrt{\frac{4xT_v}{\pi}}}{\left(1+\left(\frac{4T_v}{\pi}\right)^{2,8}\right)0,1\ 7\ 9}$

$= \frac{\sqrt{\frac{4x0,0\ 0\ 0\ 3\ 2\ 8\ 2\ 3\ 5}{3,1\ 4}}}{\left(1+\left(\frac{0,0\ 0\ 1\ 3}{3,1\ 4}\right)^{2,8}\right)0,1\ 7\ 9}$

$= \frac{\sqrt{\frac{0,0\ 0\ 1\ 3}{3,1\ 4}\ 1\ 3}}{1+0,0\ 0\ 0\ 4^{2,8}\ 1\ 8\ 0,1\ 7\ 9}$

$= \frac{\sqrt{\frac{0,0\ 0\ 1\ 3}{3,1\ 4}\ 1\ 3}}{1+3,4\ 6E-1\ 0\ 0,1\ 7\ 9}$

$= \frac{0,0\ 2\ 0\ 4\ 4\ 8}{1}$

$= 0,0\ 2\ 0$

$= 2,0\ 4\ 9\%$

¶ $S = U_v x S_t$

$= 0{,}0\ 2\ x\ 1{,}0\ 5\ 2$

$= 0{,}0\ 2\ m$

Waktu penurunan tanpa PVD dengan timbunan 2 m dapat dilihat pada **Tabel 4.23** sebagai berikut :

Tabel 4.23 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 2 m

T	Cv gab	Tv	Uv	S
(Hari)	(m^2/hari)			(m)
1	0,00773	0,000	2,045	0,022
10	0,00773	0,003	6,466	0,068
20	0,00773	0,007	9,145	0,096
70	0,00773	0,023	17,108	0,180
100	0,00773	0,033	20,448	0,215
150	0,00773	0,049	25,042	0,264
270	0,00773	0,089	33,587	0,354
430	0,00773	0,141	42,341	0,446
630	0,00773	0,207	51,109	0,538
880	0,00773	0,217	52,281	0,550
1000	0,00773	0,328	63,705	0,671
1200	0,00773	0,394	69,139	0,728
1400	0,00773	0,460	73,800	0,777
1800	0,00773	0,591	81,160	0,854
2000	0,00773	0,656	84,011	0,884
2500	0,00773	0,821	89,283	0,940
2600	0,00773	0,853	90,081	0,948
2800	0,00773	0,919	91,478	0,963

Waktu penurunan tanpa PVD dengan timbunan 4 m dapat dilihat pada **Tabel 4.24** sebagai berikut :

Tabel 4.24 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 4 m

t	Cv gab	Tv	Uv	S
(Hari)	(m^2/hari)			(m)
1	0,00773	0,000	2,045	0,031
10	0,00773	0,003	6,466	0,097
20	0,00773	0,007	9,145	0,137
70	0,00773	0,023	17,108	0,256
100	0,00773	0,033	20,448	0,307
150	0,00773	0,049	25,042	0,375
270	0,00773	0,089	33,587	0,504
430	0,00773	0,141	42,341	0,635
630	0,00773	0,207	51,109	0,766
880	0,00773	0,289	60,022	0,900
1000	0,00773	0,328	63,705	0,955
1200	0,00773	0,394	69,139	1,037
1400	0,00773	0,460	73,800	1,106

Lanjutan **Tabel 4.24** Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 4 m

t (Hari)	Cv gab (m^2/hari)	Tv	Uv	S (m)
1800	0,00773	0,591	81,160	1,217
2000	0,00773	0,656	84,011	1,260
2500	0,00773	0,821	89,283	1,339
2600	0,00773	0,853	90,081	1,351
2800	0,00773	0,919	91,478	1,371

Waktu penurunan tanpa PVD dengan timbunan 6 m dapat dilihat pada **Tabel 4.25** sebagai berikut :

Tabel 4.25 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 6 m

t (Hari)	Cv gab (m^2/hari)	Tv	Uv	S (m)
1	0,00773	0,000	2,045	0,039
10	0,00773	0,003	6,466	0,124
20	0,00773	0,007	9,145	0,176
70	0,00773	0,023	17,108	0,329
100	0,00773	0,033	20,448	0,394
150	0,00773	0,049	25,042	0,482
270	0,00773	0,089	33,587	0,647
430	0,00773	0,141	42,341	0,815
630	0,00773	0,207	51,109	0,984
880	0,00773	0,289	60,022	1,156
1000	0,00773	0,328	63,705	1,226
1200	0,00773	0,394	69,139	1,331
1400	0,00773	0,460	73,800	1,421
1800	0,00773	0,591	81,160	1,562
2000	0,00773	0,656	84,011	1,617
2500	0,00773	0,821	89,283	1,719
2600	0,00773	0,853	90,081	1,734
2800	0,00773	0,919	91,478	1,761

Waktu penurunan tanpa PVD dengan timbunan 8 m dapat dilihat pada **Tabel 4.26** sebagai berikut :

Tabel 4.26 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 8 m

t (Hari)	Cv gab (m^2/hari)	Tv	Uv	S (m)
1	0,01115	0,000	2,045	0,041
10	0,01115	0,003	6,466	0,131
20	0,01115	0,007	9,145	0,185
70	0,01115	0,023	17,108	0,347
100	0,01115	0,033	20,448	0,414
150	0,01115	0,049	25,042	0,508
270	0,01115	0,089	33,587	0,681
430	0,01115	0,141	42,341	0,858
630	0,01115	0,207	51,109	1,036
880	0,01115	0,289	60,022	1,217
1000	0,01115	0,328	63,705	1,291
1200	0,01115	0,394	69,139	1,401
1400	0,01115	0,460	73,800	1,496
1800	0,01115	0,591	81,160	1,645
2000	0,01115	0,656	84,011	1,703
2500	0,01115	0,821	89,283	1,810
2600	0,01115	0,853	90,081	1,826
2800	0,01115	0,919	91,478	1,854

Waktu penurunan tanpa PVD dengan timbunan 10 m dapat dilihat pada **Tabel 4.27** sebagai berikut :

Tabel 4.27 Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 10 m

t (Hari)	Cv gab (m^2/hari)	Tv	Uv	S (m)
1	0,01115	0,000	2,045	0,048
10	0,01115	0,003	6,466	0,151
20	0,01115	0,007	9,145	0,213
70	0,01115	0,023	17,108	0,399
100	0,01115	0,033	20,448	0,477
150	0,01115	0,049	25,042	0,584
270	0,01115	0,089	33,587	0,784
430	0,01115	0,141	42,341	0,988
630	0,01115	0,207	51,109	1,192
880	0,01115	0,289	60,022	1,400

Lanjutan **Tabel 4.27** Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 10 m

t (Hari)	Cv gab (m^2/hari)	Tv	Uv	S (m)
1000	0,01115	0,328	63,705	1,486
1200	0,01115	0,394	69,139	1,613
1400	0,01115	0,460	73,800	1,722
1800	0,01115	0,591	81,160	1,894
2000	0,01115	0,656	84,011	1,960
2500	0,01115	0,821	89,283	2,083
2600	0,01115	0,853	90,081	2,102
2800	0,01115	0,919	91,478	2,134

4.2.10 Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segitiga

¶ Konsolidasi Horizontal dengan persamaan 2.46

$C_h = (1 - 2)x\ C_v$

Dengan :

C_h = Konsolidasi horizontal (m^2/hari)

C_v = Koefisien konsolidasi (cm^2/detik)

¶ Diameter Pengaruh

$D = 1{,}0\ 5x\ s$

Dengan :

D = Diameter pengaruh (meter)

s = Spasi antar PVD (meter)

¶ Diameter Ekivalen dengan menggunakan persamaan 2.34

$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$

Dengan :

d_w = Diameter PVD (meter)

a = Panjang PVD (meter)

b = Lebar PVD (meter)

¶ Faktor Jarak Akibat PVD dengan menggunakan persamaan 2.39

$F(n) = \ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4}$

Dengan :

F (n) = Faktor akibat jarak antar PVD

D = 1.13s untuk pola segiempat (meter)

D = 1.05s untuk pola segitiga (meter)

d_w = Diameter *Prefabricated Vertical Drain* (meter)

¶ Faktor Waktu Horizontal dengan menggunakan persamaan 2.54

$$T_h = \frac{C_h x\ t}{D^2}$$

Dengan :

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal (m^2/hari)

t = Waktu yang dipilih (hari)

D = Diameter pengaruh setara PVD (meter)

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata Arah Horizontal dengan menggunakan persamaan 2.52

$$\lambda = \frac{-8xT_h}{F_n}$$

Dengan :

T_h = Faktor waktu horizontal

F_n = Faktor akibat jarak antar PVD

Derajat konsolidasi horizontal menggunakan persamaan 2.53

$$U_h = 1 - e\ \ x^{\lambda}p$$

Dengan :

U_h = Derajat konsolidasi horizontal (%)

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata dengan menggunakan persamaan 2.55

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

Dengan :

U_v = Derajat konsolidasi vertikal (%)

U_h = Derajat konsolidasi horizontal (%)

¶ Penurunan Setelah Pemasangan PVD dengan menggunakan persamaan 2.33

$$S = S_t x U_v$$

Dengan :

S_t = Penurunan total dengan timbunan 10 m (meter)

U_v = Derajat Konsolidasi (%)

Berdasarkan **Tabel 4.22** Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 10 m dapat dicari penurunan tanah setelah pemasangan PVD dengan pola segitiga sebagai berikut :

¶ Mencari T*ime Factor* :

$$T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_d\ r)^2}$$

$$= \frac{1x0,0\ 1\ 1\ 1\ 5\ 4}{5\ 5,4\ 0\ 2\ 5}$$

$$= 2E-0\ 5$$

¶ Mencari Derajat Konsolidasi :

$$U_v = (2\sqrt{\frac{T_v}{\pi}})x1\ \ 0\ \ 0\ \ \%$$

$$= (2\sqrt{\frac{2,0\ \ E-0\ 5}{3,1\ 4}})x1\ \ 0\ \ 0\ \ \%$$

$$= (2\ x\ 0,0\ \ 0\ \ 2\ \ 5)x3\ 1\ 0\ \ 0\ \ \%$$

$$= 0,0\ \ 0\ 5\ 0\ 6x1\ \ 6\ \ 2\ \ \%$$

$$= 0,0\ \ 0\ 5$$

$$= 0.5\ \ \%$$

Diketahui :

Hari Ke = 1

Cv gabungan = 0,00089 cm^2/s

= 0,008 m^2/hari

Tv = 2E-05

Uv = 0,005 %

¶ Konsolidasi Horizontal

$$C_h = (1\ S\ a\ m\ p\ 2)x\ C_v$$

$$= 1,5\ x0,0\ \ 0\ 7\ 7\ 2\ 9\ 9\ 4\ 5$$

$$= 0,0\ 1\ n2^2/ha\ r\ \ i$$

¶ Diameter Pengaruh

$D = 1{,}05x\ s$

$= 1{,}05x\ 0{,}9$

$= 0{,}945m$

¶ Diameter Ekivalen

$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$

$= \frac{2(0{,}1+0{,}003)}{3{,}14}$

$= \frac{2x0{,}103}{3{,}14}$

$= 0{,}066m$

¶ Faktor Akibat Jarak PVD

$F(n) = ln\left(\frac{D}{d_w}\right) - \frac{3}{4}$

$= ln\left(\frac{0{,}945}{0{,}065605096}\right) - \frac{3}{4}$

$= ln\ 14{,}404364 - 0{,}75$

$= 2{,}667531 - 0{,}75$

$= 1{,}917$

¶ Faktor Waktu Horizontal

$T_h = \frac{C_h x\ t}{D^2}$

$= \frac{0{,}011594x19\ 18}{0{,}893025}$

$= \frac{0{,}011594918}{0{,}893025}$

$= 0{,}013$

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata Arah Horizontal

$\lambda = \frac{-8xT_h}{F_n}$

$= \frac{-8x0{,}012983867}{1{,}917531559}$

$= \frac{-0{,}103870933}{1{,}917531559}$

$= -0{,}054$

$U_h = 1 - e\ x^{\lambda}p$

$= 1 - e\ x^{-0{,}054169909}p$

$= 0{,}053$

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata

$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$

$= 1 - (1 - 0{,}0\ 0\ 5\ 0\ 6)(1 - 0{,}0\ 5\ 2\ 7\ 2\ 8)$

$= 1 - (0{,}9\ 9\ 4\ 9\ 3)(0{,}9\ 4\ 7\ 2\ 7\ 2)$

$= 1 - 0{,}9\ 4\ 2\ 4\ 7\ 7\ 1\ 9\ 1$

$= 0{,}0\ 5\ 8$

$= 5{,}8\%$

¶ Penurunan Setelah Pemasangan PVD

$S = S\ x\ U$

$= 2{,}3\ 3\ x\ 0{,}0\ 5\ 8$

$= 0{,}1\ 3\ m$

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 0,9 m dapat dilihat pada **Tabel 4.28** sebagai berikut :

Tabel 4.28 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 0,9 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	2E-05	0,00773	0,005	0,995	0,013	0,012	0,053	0,947	0,058	0,134
10	2E-04	0,00773	0,016	0,984	0,130	0,012	0,418	0,582	0,428	0,998
20	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,260	0,012	0,662	0,338	0,669	1,561
30	6E-04	0,00773	0,028	0,972	0,390	0,012	0,803	0,197	0,809	1,886
40	8E-04	0,00773	0,032	0,968	0,519	0,012	0,885	0,115	0,889	2,074
42	8E-04	0,00773	0,033	0,967	0,545	0,012	0,897	0,103	0,901	2,101

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1 m dapat dilihat pada **Tabel 4.29** sebagai berikut :

Tabel 4.29 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	2E-05	0,00773	0,005	0,995	0,011	0,012	0,041	0,959	0,046	0,106
10	2E-04	0,00773	0,016	0,984	0,105	0,012	0,340	0,660	0,351	0,819
20	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,210	0,012	0,565	0,435	0,575	1,341
30	6E-04	0,00773	0,028	0,972	0,316	0,012	0,713	0,287	0,721	1,682
40	8E-04	0,00773	0,032	0,968	0,421	0,012	0,811	0,189	0,817	1,905
55	1E-03	0,00773	0,038	0,962	0,578	0,012	0,898	0,102	0,902	2,105

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,2 m dapat dilihat pada **Tabel 4.30** sebagai berikut :

Tabel 4.30 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,2 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	2E-05	0,00773	0,005	0,995	0,007	0,012	0,026	0,974	0,031	0,073
10	2E-04	0,00773	0,016	0,984	0,073	0,012	0,233	0,767	0,245	0,572
20	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,146	0,012	0,411	0,589	0,425	0,991
30	6E-04	0,00773	0,028	0,972	0,219	0,012	0,548	0,452	0,561	1,309
40	8E-04	0,00773	0,032	0,968	0,292	0,012	0,653	0,347	0,665	1,550
50	1E-03	0,00773	0,036	0,964	0,365	0,012	0,734	0,266	0,744	1,735
60	1E-03	0,00773	0,039	0,961	0,438	0,012	0,796	0,204	0,804	1,876
70	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,511	0,012	0,843	0,157	0,850	1,983
80	2E-03	0,00773	0,045	0,955	0,584	0,012	0,880	0,120	0,885	2,066
86	2E-03	0,00773	0,047	0,953	0,628	0,012	0,898	0,102	0,902	2,105

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,4 m dapat dilihat pada **Tabel 4.31** sebagai berikut :

Tabel 4.31 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,4 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	2E-05	0,00773	0,005	0,995	0,005	0,012	0,018	0,982	0,023	0,054
10	2E-04	0,00773	0,016	0,984	0,054	0,012	0,166	0,834	0,180	0,419
20	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,107	0,012	0,305	0,695	0,321	0,748
30	6E-04	0,00773	0,028	0,972	0,161	0,012	0,421	0,579	0,437	1,019
40	8E-04	0,00773	0,032	0,968	0,215	0,012	0,517	0,483	0,532	1,242
50	1E-03	0,00773	0,036	0,964	0,268	0,012	0,597	0,403	0,612	1,427
60	1E-03	0,00773	0,039	0,961	0,322	0,012	0,664	0,336	0,677	1,581
70	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,376	0,012	0,720	0,280	0,732	1,708
80	2E-03	0,00773	0,045	0,955	0,429	0,012	0,767	0,233	0,777	1,813
90	2E-03	0,00773	0,048	0,952	0,483	0,012	0,806	0,194	0,815	1,901
100	2E-03	0,00773	0,051	0,949	0,537	0,012	0,838	0,162	0,846	1,974
110	2E-03	0,00773	0,053	0,947	0,590	0,012	0,865	0,135	0,872	2,034
124	2E-03	0,00773	0,056	0,944	0,665	0,012	0,895	0,105	0,901	2,102

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,6 m dapat dilihat pada **Tabel 4.32** sebagai berikut :

Tabel 4.32 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,6 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	2E-05	0,00773	0,005	0,995	0,004	0,012	0,013	0,987	0,018	0,042
10	2E-04	0,00773	0,016	0,984	0,041	0,012	0,124	0,876	0,138	0,321
20	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,082	0,012	0,232	0,768	0,249	0,581
30	6E-04	0,00773	0,028	0,972	0,123	0,012	0,327	0,673	0,345	0,806
40	8E-04	0,00773	0,032	0,968	0,164	0,012	0,410	0,590	0,429	1,000
50	1E-03	0,00773	0,036	0,964	0,205	0,012	0,483	0,517	0,501	1,169
60	1E-03	0,00773	0,039	0,961	0,246	0,012	0,547	0,453	0,564	1,317
70	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,288	0,012	0,603	0,397	0,619	1,445
80	2E-03	0,00773	0,045	0,955	0,329	0,012	0,652	0,348	0,667	1,557
90	2E-03	0,00773	0,048	0,952	0,370	0,012	0,695	0,305	0,709	1,655
100	2E-03	0,00773	0,051	0,949	0,411	0,012	0,732	0,268	0,746	1,740
110	2E-03	0,00773	0,053	0,947	0,452	0,012	0,765	0,235	0,778	1,815
120	2E-03	0,00773	0,055	0,945	0,493	0,012	0,794	0,206	0,806	1,880
130	3E-03	0,00773	0,058	0,942	0,534	0,012	0,820	0,180	0,830	1,937
140	3E-03	0,00773	0,060	0,940	0,575	0,012	0,842	0,158	0,852	1,987
150	3E-03	0,00773	0,062	0,938	0,616	0,012	0,862	0,138	0,870	2,030
160	3E-03	0,00773	0,064	0,936	0,657	0,012	0,879	0,121	0,886	2,068
170	3E-03	0,00773	0,066	0,934	0,698	0,012	0,894	0,106	0,901	2,101

4.2.11 Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segi Empat

¶ Konsolidasi Horizontal dengan mengacu pada persamaan 2.46

$C_h = (1 - 2)x\ C_v$

Dengan :

C_v = Koefisien konsolidasi (m^2/hari)

¶ Diameter Pengaruh

$D = 1{,}1\ 3x\ s$

Dengan :

s = Spasi antar PVD (meter)

¶ Diameter Ekivalen dengan mengacu pada persamaan 2.34

$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$

Dengan :

d_w = Diameter PVD (meter)

a = Panjang PVD (meter)

b = Lebar PVD (meter)

¶ Faktor Jarak Akibat PVD dengan mengacu pada persamaan 2.39

$F(n) = 1\ \ln\left(\frac{D}{d\ w}\right) - \frac{3}{4}$

Dengan :

F (n) = Faktor akibat jarak antar PVD

D = 1.13s untuk pola segiempat (meter)

D = 1.05s untuk pola segitiga (meter)

d_w = Diameter PVD (meter)

¶ Faktor Waktu Horizontal dengan mengacu pada persamaan 2.54

$T_h = \frac{C_h x\ t}{D^2}$

Dengan :

C_h = Koefisien konsolidasi horizontal (m^2/hari)

t = Waktu yang dipilih (hari)

D = Diameter pengaruh setara PVD (meter)

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata Arah Horizontal dengan mengacu pada persamaan 2.52

$\lambda = \frac{-8xT_h}{F_n}$

Dengan :

T_h = Faktor waktu horizontal

F_n = Faktor akibat jarak antar *Prefabricated Vertical Drain*

Derajat konsolidasi horizontal dengan mengacu pada persamaan 2.53

$U_h = 1 - e\ x^{\lambda}p$

Dengan :

U_h = Derajat konsolidasi horizontal (%)

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata dengan mengacu pada persamaan 2.55

$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$

Dengan :

U_v = Derajat konsolidasi vertikal (%)

U_h = Derajat Konsolidasi horizontal (%)

¶ Penurunan Setelah Pemasangan PVD dengan mengacu pada persamaan 2.33

$S = S_t x U_v$

Dengan :

S_t = Penurunan total (meter)

U_v = Derajat Konsolidasi dengan timbunan 10 m (%)

Berdasarkan **Tabel 4.22** Waktu Penurunan Tanpa PVD Dengan Timbunan 10 m dapat dicari penurunan tanah setelah pemasangan PVD dengan pola segitiga sebagai berikut :

¶ Mencari *time factor* :

$T\ v = \frac{t.C\ v}{(H_d\ r)^2}$

$= \frac{1x0,0\ 0\ 7\ 7\ 2\ 9\ 9\ 5}{5\ 5,4\ 0\ 2\ 5}$

$= 1E - 0\ 5$

¶ Mencari derajat konsolidasi :

$U_v = (2\sqrt{\frac{T_v}{\pi}})x1\ 0\ 0\ \%$

$= (2\sqrt{\frac{1,3\ 9E-0\ 5}{3,1\ 4}})x1\ 0\ 0\ \%$

$= (2 \times 0{,}0\ 0\ 2\ 1) \times 1\ 7\ 0\ 0\ \%$

$= 0{,}0\ 0\ 4\ 2\ 1 \times 3\ 6\ 0\ \%$

$= 0{,}0\ 0\ 4$

Diketahui :

Hari Ke = 1

Cv gabungan = 0,00089 cm^2/s

= 0,008 m^2/hari

Tv = 1E-05

Uv = 0,004

¶ Konsolidasi Horizontal

$C_h = (1\ S\ a\ m\ p\ 2) \times C_v$

$= 1{,}5 \times 0{,}0\ 0\ 7\ 7\ 2\ 9\ 9\ 4\ 5$

$= 0{,}0\ 1\ 2\ m^2/ha\ r\ i$

¶ Diameter Pengaruh

$D = 1{,}1\ 3 \times s$

$= 1{,}1\ 3 \times 0{,}9$

$= 1{,}0\ 1\ 7\ m$

¶ Diameter Ekivalen

$d_w = \frac{2(a+b)}{\pi}$

$= \frac{2(0{,}1+0{,}0\ 0\ 3)}{3{,}1\ 4}$

$= \frac{2 \times 0{,}1\ 0\ 3}{3{,}1\ 4}$

$= 0{,}0\ 6\ 6\ m$

¶ Faktor Akibat Jarak PVD

$F(n) = l\ n \left(\frac{D}{d\ w}\right) - \frac{3}{4}$

$= l\ n \left(\frac{1{,}1\ 0\ 1\ 7}{0{,}0\ 6\ 5\ 6\ 0\ 5}\right) - \frac{3}{4}$

$= l\ n\ 1\ 5{,}5\ 0\ 1\ 8\ 4 - 0{,}7\ 5$

$= 2{,}7\ 4\ 0\ 9\ 5\ 9 - 0{,}7\ 5$

$= 1{,}9\ 9$

¶ Faktor Waktu Horizontal

$T_h = \frac{C_h x\ t}{D^2}$

$$= \frac{0{,}0\ 1\ 1\ 5\ 9\ 4\ 9\ 1\ 8}{1{,}0\ 3\ 4\ 2\ 8\ 9}$$

$$= \frac{0{,}0\ 1\ 1\ 5\ 9\ 4\ 9\ 1\ 8}{1{,}0\ 3\ 4\ 2\ 8\ 9}$$

$$= 0{,}0\ 1\ 1$$

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata Arah Horizontal

$$\lambda = \frac{-8xT_h}{F_n}$$

$$= \frac{-8x0{,}0\ 1\ 1\ 2\ 1\ 0\ 5\ 2}{1{,}9\ 9\ 0\ 9\ 5\ 9\ 0\ 2\ 7}$$

$$= \frac{-0{,}0\ 8\ 9\ 6\ 8\ 4\ 1\ 6}{1{,}9\ 9\ 0\ 9\ 5\ 9\ 0\ 2\ 7}$$

$$= -0{,}0\ 4\ 5$$

$$U_h = 1 - e\ x^{\lambda}p$$

$$= 1 - e\ x^{-0{,}0\ 4\ 5\ 0\ 4\ 5\ 7\ 1}p$$

$$= 0{,}0\ 4\ 4$$

¶ Derajat Konsolidasi Rata-rata

$$U = 1 - (1 - U_v)(1 - U_h)$$

$$= 1 - (1 - 0{,}0\ 0\ 4\ 2\ 1\ 3)(1 - 0{,}0\ 4\ 4\ 0\ 4\ 6$$

$$= 1 - (0{,}9\ 9\ 5\ 7\ 8\ 6)(0{,}9\ 5\ 5\ 9\ 5\ 4$$

$$= 1 - 0{,}9\ 5\ 1\ 9\ 2\ 5\ 6\ 9\ 4$$

$$= 0{,}0\ 4\ 8$$

¶ Penurunan Setelah Pemasangan PVD

$$S = S\ x\ U$$

$$= 2{,}3\ 3\ 3\ x\ 0{,}0\ 4\ 8$$

$$= 0{,}1\ 1\ 2\ m$$

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 0,9 m dapat dilihat pada **Tabel 4.33** sebagai berikut :

Tabel 4.33 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 0,9 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	1E-05	0,00773	0,004	0,996	0,011	0,012	0,044	0,956	0,048	0,112
10	1E-04	0,00773	0,013	0,987	0,112	0,012	0,363	0,637	0,371	0,866
20	3E-04	0,00773	0,019	0,981	0,224	0,012	0,594	0,406	0,601	1,403
30	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,336	0,012	0,741	0,259	0,747	1,743
40	6E-04	0,00773	0,027	0,973	0,448	0,012	0,835	0,165	0,839	1,958
50	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,561	0,012	0,895	0,105	0,898	2,095
52	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,583	0,012	0,904	0,096	0,907	2,116

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1 m dapat dilihat pada **Tabel 4.34** sebagai berikut :

Tabel 4.34 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	1E-05	0,00773	0,004	0,996	0,009	0,012	0,034	0,966	0,038	0,089
10	1E-04	0,00773	0,013	0,987	0,091	0,012	0,293	0,707	0,302	0,705
20	3E-04	0,00773	0,019	0,981	0,182	0,012	0,500	0,500	0,509	1,188
30	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,272	0,012	0,646	0,354	0,655	1,527
40	6E-04	0,00773	0,027	0,973	0,363	0,012	0,750	0,250	0,757	1,765
50	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,454	0,012	0,823	0,177	0,828	1,933
60	8E-04	0,00773	0,033	0,967	0,545	0,012	0,875	0,125	0,879	2,051
66	9E-04	0,00773	0,034	0,966	0,599	0,012	0,898	0,102	0,902	2,104

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,2 m dapat dilihat pada **Tabel 4.35** sebagai berikut :

Tabel 4.35 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,2 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	1E-05	0,00773	0,004	0,996	0,006	0,012	0,022	0,978	0,026	0,061
10	1E-04	0,00773	0,013	0,987	0,063	0,012	0,199	0,801	0,209	0,488
20	3E-04	0,00773	0,019	0,981	0,126	0,012	0,358	0,642	0,370	0,863
30	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,189	0,012	0,485	0,515	0,497	1,160
40	6E-04	0,00773	0,027	0,973	0,252	0,012	0,588	0,412	0,599	1,396
50	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,315	0,012	0,669	0,331	0,679	1,585
60	8E-04	0,00773	0,033	0,967	0,378	0,012	0,735	0,265	0,744	1,735
70	1E-03	0,00773	0,035	0,965	0,441	0,012	0,788	0,212	0,795	1,855
80	1E-03	0,00773	0,038	0,962	0,504	0,012	0,830	0,170	0,836	1,951
90	1E-03	0,00773	0,040	0,960	0,568	0,012	0,864	0,136	0,869	2,028
100	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,631	0,012	0,891	0,109	0,895	2,089
105	1E-03	0,00773	0,043	0,957	0,662	0,012	0,902	0,098	0,906	2,115

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,4 m dapat dilihat pada **Tabel 4.36** sebagai berikut :

Tabel 4.36 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,4 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	1E-05	0,00773	0,004	0,996	0,005	0,012	0,015	0,985	0,019	0,045
10	1E-04	0,00773	0,013	0,987	0,046	0,012	0,141	0,859	0,153	0,356
20	3E-04	0,00773	0,019	0,981	0,093	0,012	0,263	0,737	0,277	0,645
30	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,139	0,012	0,367	0,633	0,381	0,890
40	6E-04	0,00773	0,027	0,973	0,185	0,012	0,456	0,544	0,471	1,098
50	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,232	0,012	0,533	0,467	0,547	1,276
60	8E-04	0,00773	0,033	0,967	0,278	0,012	0,599	0,401	0,612	1,428
70	1E-03	0,00773	0,035	0,965	0,324	0,012	0,656	0,344	0,668	1,558
80	1E-03	0,00773	0,038	0,962	0,371	0,012	0,704	0,296	0,716	1,669
90	1E-03	0,00773	0,040	0,960	0,417	0,012	0,746	0,254	0,756	1,765
100	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,463	0,012	0,782	0,218	0,791	1,846
110	2E-03	0,00773	0,044	0,956	0,510	0,012	0,813	0,187	0,821	1,916
120	2E-03	0,00773	0,046	0,954	0,556	0,012	0,839	0,161	0,847	1,975
130	2E-03	0,00773	0,048	0,952	0,602	0,012	0,862	0,138	0,869	2,027
140	2E-03	0,00773	0,050	0,950	0,649	0,012	0,882	0,118	0,887	2,070
148	2E-03	0,00773	0,051	0,949	0,686	0,012	0,895	0,105	0,900	2,101

Penurunan setelah pemasangan PVD dengan jarak 1,6 m dapat dilihat pada **Tabel 4.37** sebagai berikut :

Tabel 4.37 Penurunan Setelah Pemasangan PVD Dengan Jarak 1,6 m

t (Hari)	Tv	Cv ($m^2/hari$)	Uv ($m^2/hari$)	(1-Uv)	Th	Ch ($m^2/hari$)	Uh	(1-Uh)	U	S (m)
1	1E-05	0,00773	0,004	0,996	0,004	0,012	0,011	0,989	0,015	0,035
10	1E-04	0,00773	0,013	0,987	0,035	0,012	0,105	0,895	0,117	0,272
20	3E-04	0,00773	0,019	0,981	0,071	0,012	0,198	0,802	0,214	0,498
30	4E-04	0,00773	0,023	0,977	0,106	0,012	0,282	0,718	0,299	0,697
40	6E-04	0,00773	0,027	0,973	0,142	0,012	0,357	0,643	0,375	0,874
50	7E-04	0,00773	0,030	0,970	0,177	0,012	0,425	0,575	0,442	1,031
60	8E-04	0,00773	0,033	0,967	0,213	0,012	0,485	0,515	0,502	1,171
70	1E-03	0,00773	0,035	0,965	0,248	0,012	0,539	0,461	0,555	1,295
80	1E-03	0,00773	0,038	0,962	0,284	0,012	0,587	0,413	0,603	1,406
90	1E-03	0,00773	0,040	0,960	0,319	0,012	0,630	0,370	0,645	1,505
100	1E-03	0,00773	0,042	0,958	0,355	0,012	0,669	0,331	0,683	1,593
110	2E-03	0,00773	0,044	0,956	0,390	0,012	0,704	0,296	0,717	1,672
120	2E-03	0,00773	0,046	0,954	0,426	0,012	0,735	0,265	0,747	1,743
130	2E-03	0,00773	0,048	0,952	0,461	0,012	0,762	0,238	0,774	1,806
140	2E-03	0,00773	0,050	0,950	0,497	0,012	0,787	0,213	0,798	1,862
150	2E-03	0,00773	0,052	0,948	0,532	0,012	0,810	0,190	0,819	1,912
160	2E-03	0,00773	0,053	0,947	0,568	0,012	0,830	0,170	0,839	1,957
170	2E-03	0,00773	0,055	0,945	0,603	0,012	0,847	0,153	0,856	1,997
180	3E-03	0,00773	0,057	0,943	0,638	0,012	0,863	0,137	0,871	2,032
190	3E-03	0,00773	0,058	0,942	0,674	0,012	0,878	0,122	0,885	2,064
205	3E-03	0,00773	0,060	0,940	0,727	0,012	0,896	0,104	0,903	2,106

4.2.12 Perencanaan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

Pada perhitungan waktu penurunan *Prefabricated Verticall Drain* (PVD) lebih efektif menggunakan pola segitiga. Jarak PVD yang digunakan sebesar 0,9 m. Diameter pengaruh PVD (D pola) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 1,05 x 0,9 = 0,945 m. Derajat pemampatan 90% dan besar pemampatan 2,101 memerlukan waktu pengaliran 42 hari 3628800 detik.

¶ Debit Air Vertikal Rata-rata per m^2

Volume aliran air = Besar pemampatan x 1 m^2

= 2,101 x 1

= 2,101 m^3

¶ Estimasi Debit Air per 1 titik PVD dengan mengacu pada persamaan 2.58

$A_e = \frac{\pi}{4} D$ u n t p l s g i t i g a

$= \frac{3,1\ 4}{4} D$ u n t p l s g i t i g a

$= \frac{3,1\ 4}{4} x 0,9\ \ 4\ ^2 5$

$= \frac{3,1\ 4}{4} x 0,8\ 9\ 3\ 0\ 2\ 5$

$= 0,7\ 0\ m^2$

Artinya, setiap 1 titik ujung *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengeluarkan air seluas 0,701 m^2.

Sehingga, 1 titik ujung PVD mengeluarkan air vertikal sebesar (Q)

A_e x Q = 0,701 x 5,7E-07 = 4E-07 m^3/s

Setiap 1 titik ujung *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengeluarkan air dengan debit rata – rata = 4E-07 m^3/s

¶ Panjang maksimal lajur *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

Panjang maksimal lajur PHD = $\frac{1}{2}$ x panjang daerah yang diperbaiki

= 0,5 x 141,434

= 70,717 m

¶ Jumlah Ujung PVD pada 1 lajur PHD untuk 2 lajur PVD

Jarak = 0,9 m

Jumlah titik PHD dengan mengacu pada persamaan 2.59

Jumlah titik PHD = $2\ x\ \left(\frac{70,717}{0,9}\right)$

= 2 x 78,57444444

= 157,149 titik

= 157 titik

¶ Estimasi Debit Maksimum Aliran Air Horizontal dengan mengacu pada persamaan 2.60

Debit = N x q

= 157 x 4E-07

= 6E-05 m^3/s

¶ Penggunaan PHD Jenis CETEAU CT-SD100-20

Kapasitas PHD CT-SD 100-20 = 3,77 x 10^{-4}

= 0,00038 m^3/s

Faktor keamaan dengan mengacu pada persamaan 2.60

Faktor Keamanan (SF) = $\frac{Kapasitas\ PHD\ (Q)}{Estimasi\ Debit\ Maksimum\ Horizontal}$

$= \frac{0{,}000038}{6E-05}$

= 5,910

Karena debit maksimum aliran air horizontal kurang dari kapasitas pengaliran *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) maka 1 lajur *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) menerima 2 lajur *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

4.3 Hasil Perhitungan

- Berdasarkan analisis diperoleh hasil perhitungan penurunan tanah dengan konsolidasi primer metode Terzaghi dan Peck sebesar 4,990 m.
- Perbandingan perhitungan manual tanpa menggunakan PVD untuk mencapai konsolidasi 90% pada **Tabel 4.38** :

  Tabel 4.38 Hasil Perhitungan Tanpa Menggunakan PVD untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

Timbunan (m)	Waktu (Hari)	Besar Penurunan (m)
2	2600	0,948
4	2600	1,351
6	2600	1,734
8	2600	1,826
10	2600	2,102

  Berdasarkan tabel di atas hasil perhitungan tanpa menggunakan PVD untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan timbunan 2 m sampai 10 m membutuhkan waktu selama 2600 hari.
- Perbandingan perhitungan manual menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mencapai konsolidasi 90% dapat dilihat pada **Tabel 4.39** sebagai berikut :

Tabel 4.39 Hasil Perhitungan dengan Menggunakan PVD untuk Mencapai Derajat Konsolidasi 90%

Jarak PVD (m)	Waktu (Hari)		Besar Penurunan (m)	
	Pola Segitiga	Pola Segi Empat	Pola Segitiga	Pola Segi Empat
0,9	42	52	2,101	2,116
1	55	66	2,105	2,104
1,2	86	105	2,105	2,115
1,4	124	148	2,102	2,101
1,6	170	205	2,101	2,106

Berdasarkan tabel di atas dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan menggunakan PVD untuk mencapai derajat konsolidasi 90% dengan pola segitiga dan pola segiempat lebih efektif menggunakan pola segitiga. Penggunaan pola segitiga lebih cepat waktunya dibandingkan dengan pola segiempat.

¶ Perbandingan perhitungan penurunan tanah menggunakan PVD dan penurunan tanah menggunakan PVD dapat dilihat pada **Tabel 4.40** sebagai berikut:

Tabel 4.40 Hasil Perbandingan Penurunan Tanpa PVD dan Dengan PVD

	Derajat Konsolidasi 90%	
	Waktu (Hari)	Besar Penurunan (m)
Tanpa PVD	2600	2,102
Menggunakan PVD	42	2,101

Berdasarkan tabel di atas bahwa besar penurunan tanah dengan timbunan 10 m tanpa menggunakan PVD 2,102m dengan waktu 2600 hari, sedangkan besar penurunan tanah dengan menggunakan PVD 2,101 m dengan waktu 42 hari dengan jarak paling dekat yaitu 0,9 m. Hal ini dapat disimpulkan bahwa besar penurunan tanpa menggunakan PVD dan menggunakan PVD tidak jauh berbeda, namun waktu penggunaan PVD lebih cepat dan efisien dibandingkan tidak menggunakan PVD.

¶ Berdasarkan hasil perhitungan PVD dengan pola segitiga, maka setiap 1 ujung PVD mengeluarkan air seluas 0,701 m^2. Pada perencanaan ini menggunakan PHD jenis CETEAU CT-SD 100-20 berjumlah 157 titik dengan panjang maksimum lajur PHD 70,717 m. Estimasi debit maksimum aliran air horizontal sebesar 0,000064 m^3/s. Debit maksimum aliran air horizontal kurang dari kapasitas pengaliran *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) maka 1 lajur *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) menerima 2 lajur *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada Proyek Pembangunan Jalan Tol STA 8+200 – STA 8+250 dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi tanah pada wilayah Semarang - Demak terletak di daerah sedimen formasi *alluvium* (Qa) yang sangat muda. Daerah ini memiliki jenis tanah yaitu tanah lempung lunak. Jenis tanah di kawasan ini juga memiliki kompresibilitas tinggi dan daya dukung yang rendah, sehingga menimbulkan kendala penurunan atau ketidak stabilan daya dukung. Maka dari itu, diperlukan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PVD), dan geotekstil.
2. Berdasarkan hasil tanpa menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mencapai derajat konsolidasi 90% membutuhkan waktu selama 2600 hari dengan tinggi timbunan 10 m dengan besar penurunan 2,101677 m
3. Kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang digunakan dalam perencanaan sedalam 23,55 m dengan tinggi timbunan 10 m. Berdasarkan pola segitiga dengan jarak 0,9 m diperoleh waktu selama 42 hari. Sedangkan dengan pola segiempat dengan jarak 0,9 m diperoleh waktu selama 52 hari. Dari hasil perbandingan tersebut disimpulkan bahwa efektifitas *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dipengaruhi oleh jarak dan pola. Semakin besar jarak yang diberikan, semakin lama waktu penurunan nya. Dan berdasarkan perhitungan lebih efisien menggunakan pola segitiga. Berdasarkan hasil perhitungan PVD dengan pola segitiga, maka setiap 1 ujung PVD mengeluarkan air seluas 0,701024625 m^2 dengan panjang lajur PHD maksimum 70,717 m menghasilkan estimasi debit air horizontal sebesar 0,0000637877 m^3/s.

5.2 Saran

1. Hasil Analisis yang dilakukan menggunakan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* dan *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)* dapat mempercepat waktu penurunan, serta untuk pembuktian hal tersebut dianjurkan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.
2. Pastikan kembali satuan konversi yang digunakan dalam perhitungan agar sesuai dengan kebutuhan perhitungan.

DAFTAR PUSTAKA

Alfinada Muhammad, Tony Ridwan Anggriawan, Gata Dian Asfari, Abdul Rochim. (2016). *Analisis Penurunan Tanah Dan Perbaikan Tanah Lunak Dengan Pvd (Prefabricated Vertical Drains)*. Skripsi Teknik Sipil UNISSULA. Diambil dari: http://repository.unissula.ac.id/6564/, 24 Februari 2022

Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta

Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Prinsip ï Prinsip Rekayasa Geoteknis Tanah, Jilid 1*. Erlangga. Jakarta

Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Prinsip ï Prinsip Rekayasa Geoteknis Tanah, Jilid 2*. Erlangga. Jakarta

Djarwanti Noegroho. (2008). *Komparasi Koefisien Permeabilitas (K) Pada Tanah Kohesif*. Media Teknik Sipil FT UNS/Januari 2008/21

Elib.unikom. (12 januari 2010). *Bab X Konsolidasi*. Praktikum Mekanika Tanah unikom. Diakses pada 7 Maret 2022, dari https://elib.unikom.ac.id/files/disk1/380/jbptunikompp-gdl-irailraswa-18984-10-bab10k-i.pdf

Ghifari Raihan Akbar, Harvesta Anugerah Aji. (2020). *Kerja Praktek Proyek Jalan Tol Semarang - Demak Pt Pp (Persero) Tbk*. Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diambil dari: https://repository.its.ac.id/82552/1/03111740000051_03111740000065-Project_Report.pdf, 24 februari 2022.

Hansbo, S. (1979). "*Consolidation of clay by band-s h a p e d p r e f a b r i c a t e d* Ground Enginnering. July, Vol.12, No. 5

Hardiyatmo Hary Christady. (2014). *Mekanika Teknik 2*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Edisi kelima. Gadjah Mada University Press

Hasan Muhammad Nur. (2018). *Pra Rancangan Pabrik Kain Non-Woven Geotekstil Dengan kapasitas 18.000.000 Meter/Tahun*. Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia. Diambil dari: https://dspace.uii.ac.id/bitstream/handle/123456789/11327/Muhammad_Nur_Hasan_14521167_TA_Perancangan_Pabrik_Tekstil_Kain_non_Woven_Geotekstil.pdf?sequence=1, 31 Maret 2022

Jun, X. (2008). *Bahan Ajar Geografi Kota Semarang Demak*. *Online Review*, 93-108.

Kurniawan Dedy, Iswan, Setyanto. (2015). *Hubungan Nilai Konsolidasi dan Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung yang Disubtitusi Material Pasir*. JRSDD, Edisi Maret 2015, Vol. 3, No. 1, Hal:131 - 144 (ISSN:2303-0011)

Ningsih Ana Crosita. (2018). *Perbaikan Perencanaan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain*. Fakultas Teknik Universitas Jember. Diambil dari: http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/85881, 16 Februari 2022.

Nugroho Muhammad Fismayana. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar Dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang Sta 46+900 S.D Sta 51+100.* Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan kebumian Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diambil dari:

https://repository.its.ac.id/55723/1/03111440000097-Undergraduate_Theses.pdf, 1 Maret 2022.

Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*.

Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 003/BM/2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik*.

Pratikso. (2022). *Bahan Ajar PPT Aplikasi PVD*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pratikso. (2008). *Mekanika Tanah 1*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Ranty Olyvia Gemala, Totoh Andayono. (2021). *Perbaikan Tanah Dengan Metode Prefabricated Vertical Drain Pada Proyek Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2*. http://ejournal.unp.ac.id/index.php/cived/index. Volume 8 No. 1 Maret 2021. 32-37.

Risdianta Ryan Hendraning. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Dan Prefabricated Horizontal Drain (Phd) Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda Dan Btari*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Diambil dari: http://repository.ub.ac.id/9623/, 24 Februari 2022.

Suyono Sosrodarsono dan Kazoto Nakayawa. (1984). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita. Jakarta

Terzaghi, K. And Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice.* New York. John Wiley & Sons Inc

Utami Erdina Tyagita, dkk. (2019). *Analisis Stabilitas pada Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Sipil Itenas No 3 Vol 5, September 2019.

Viona Diannery Vivi, Pratikso, Soedarsono. (2021). *Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan Pvd ï Phd (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang ï Demak Paket Ii Sta 21+850)*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Wardoyo, dkk. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Edisi 2019. Bandung

Widjaja Budijanto, Priscillia Sundayo. (2016). *Alternatif Penentuan Batas Cair Dan Batas Plastis Dengan Tiga Variasi Berat Konus Menggunakan Metode Lee Dan Freeman (2009).* Jurnal Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan. Volume 14, No. 1, Oktober 2016, 62 – 67