

LAPORAN KERJA PRAKTIK
PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN PVD *PRELOADING*
SERTA *SAND DRAIN* PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN
DAERAH KAWASAN INDUSTRI KENDAL (KIK)



OLEH :

DINI OKTAVIA

NPM. 22035010006

ARRAYA FREDERICKO ROMANZA

NPM. 22035010063

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR
2025

**LAPORAN KERJA PRAKTIK
PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN PVD *PRELOADING*
SERTA *SAND DRAIN* PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN
DAERAH KAWASAN INDUSTRI KENDAL (KIK)**



OLEH :

DINI OKTAVIA

NPM. 22035010006

ARRAYA FREDERICKO ROMANZA

NPM. 22035010063

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK DAN SAINS
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
JAWA TIMUR**

2025


LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN KERJA PRAKTIK (KP)
PERBAIKAN TANAH LUNAK DENGAN PVD *PRELOADING* SERTA SAND
DRAIN PADA PROYEK KONSTRUKSI JALAN DAERAH KAWASAN
INDUSTRI KENDAL (KIK)


Kerja Praktik Ini Telah Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Sipil (S-1)

Disusun Oleh:

Dini Oktavia,


Arraya Fredericko Romanza,


NPM. 22035010006


NPM. 22035010063

Pembimbing KP


Pembimbing Lapangan


Dian Purnamawati Solin, S.T., M. Sc.
NIP. 198903042019032017


Azmi Kisani Wahyu, S.T., M.T.

Koordinator Program Studi Teknik Sipil


Dr. Ir. Hendrata Wibisana, MT
NIP: 196512081991031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik


Prof. Dr. Dra. Jarivah, MP.
NIP. 19650403 199103 2001

KATA PENGANTAR

Dengan segala puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga “Laporan Kerja Praktik Perbaikan Tanah Lunak dengan PVD *Preloading* serta *Sand Drain* Pada Proyek Konstruksi Jalan Daerah Kawasan Industri Kendal (KIK)” dapat terselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun dengan tujuan untuk menyelesaikan tugas akademik dan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar strata 1 (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Dalam penyusunan laporan ini, penulis menerima banyak bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof Dr. Dra. Jariyah, M.P., selaku Dekan Fakultas Teknik UPN “Veteran” Jawa Timur.
2. Dr. Ir. Hendrata Wibisana, M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UPN “Veteran” Jawa Timur.
3. Dian Purnamawati Solin, S.T., M. Sc., selaku Dosen Pembimbing “Kerja Praktik Perbaikan Tanah Lunak Dengan PVD *Preloading* Serta *Sand Drain* Pada Proyek Konstruksi Jalan Daerah Kawasan Industri Kendal (KIK)”
4. Azmi Lisani Wahyu, S.T., M.T. selaku pembimbing lapangan pada “Kerja Praktik Perbaikan Tanah Lunak Dengan PVD *Preloading* Serta *Sand Drain* Pada Proyek Konstruksi Jalan Daerah Kawasan Industri Kendal (KIK)”
5. Aulia Dewi Fatikasari, S.T., M.T. selaku Koordinator Kerja Praktik yang telah mendukung pelaksanaan program kerja praktik.
6. Seluruh staf dan karyawan PT. Teknindo Geosistem Unggul yang memberikan kesempatan untuk melakukan kerja praktik dan sudah membantu kami selama proses kerja praktik kami.
7. Rekan – rekan yang telah memberi dukungan dalam penyusunan laporan kerja praktik.

Kami berharap laporan ini dapat memberikan manfaat bagi para pembaca. Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penyusunan laporan ini. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk menerima saran dan kritik yang membangun. Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih dan memohon maaf sebesar-besarnya apabila terdapat kata-kata yang kurang berkenan atau sulit dipahami dalam laporan ini.

Surabaya, 24 Oktober 2025

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	2
1.5 Data Proyek.....	2
1.6 Peta Proyek.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tanah Lunak.....	4
2.1.1 Karakteristik Tanah Lunak.....	4
2.1.2 Klasifikasi Tanah Lunak.....	4
2.1.3 Korelasi N-SPT Tanah Lunak.....	6
2.2 Teori Konsolidasi.....	7
2.3 Penurunan Tanah (<i>Settlement</i>).....	8
2.3.1 Penurunan Konsolidasi Primer.....	9
2.3.2 Waktu Penurunan Konsolidasi.....	12
2.4 Penanganan Tanah Lunak.....	13
2.4.1 <i>Preloading</i>	14
2.4.2 <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	15
2.4.3 <i>Horizontal Sand Drain</i>	16
BAB III STRUKTUR ORGANISASI.....	17
3.1 Umum.....	17
3.2 Hubungan Kerja.....	17
3.2.1 Pemberi Tugas/Pemilik Proyek.....	17
3.2.2 Konsultan Perencana.....	18
3.2.3 Manajemen Kosntruksi.....	18
3.2.4 Sub - Kontraktor.....	19
3.3 Struktur Organisasi Proyek.....	20

3.3.1	<i>Project Manager</i> – Fakhri Nur Hidayat.....	21
3.3.2	<i>Site Manager</i> – Fakhri Nur Hidayat	22
3.3.3	Admin Proyek – Dwi Jayanto	22
3.3.4	Pelaksana <i>Coarse Material</i> – Dwi Jayanto.....	23
3.3.5	Pelaksana <i>Geotextile & PVD</i> – M. Saf'I Anam.....	23
3.3.6	QHSE - Fery Firman S.....	24
3.3.7	HSE - Dwiky Nurfiansyah.....	24
BAB IV METODE PELAKSANAAN KERJA		25
4.1	Tahapan Pelaksanaan Pekerjaan	25
4.2	Pengadaan Material dan Mobilisasi Peralatan.....	26
4.2.1	Material.....	26
4.2.2	Peralatan.....	28
4.3	Pemasangan <i>Geotextile Non - Woven</i>	32
4.4	Pemasangan Horizontal Sand Drain	34
4.5	Pemasangan dan Penyambungan <i>Prefabricated Vertical Drain</i>	34
4.5.1	Tahap Pemasangan PVD	34
4.5.2	Tahap Penyambungan PVD.....	37
4.6	Pemasangan <i>Settlement Plate</i>	38
BAB V KONTROL RENCANA KERJA DAN SYARAT-SYARAT PEKERJAAN		39
5.1	Umum	39
5.2	Kontrol Rencana Kerja dan Syarat - Syarat.....	39
5.2.1	Kontrol Terhadap PVD.....	40
5.2.2	Kontrol Terhadap <i>Geotextile</i>	43
6.1	Pedoman Perancangan Perbaikan Tanah Lunak.....	48
6.2	Data Perancangan	48
6.2.1	Data Tanah Dasar.....	48
6.2.2	Korelasi N-SPT dengan Parameter Data Tanah Dasar	51
6.2.3	Data Pembebanan	53
6.3	Perancangan Timbunan Tanah.....	56
6.3.1	Perhitungan <i>Effective Overburden Pressure</i>	57
6.3.2	Perhitungan <i>Effective Past Overburden Pressure</i>	57
6.3.3	Perhitungan <i>Over Consolidated Ratio</i>	57
6.3.4	Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i>	57
6.3.5	Perhitungan Tinggi Timbunan.....	62

6.4	Perancangan PVD	66
6.4.1	Perhitungan Konsolidasi Alami Tanpa PVD	66
6.4.2	Perhitungan Waktu Konsolidasi dengan PVD.....	68
6.5	Evaluasi <i>Rate of Settlement</i>	71
BAB VII MANAJEMEN PROYEK DAN ADMINISTRASI PROYEK		75
7.1	Manajemen Proyek	75
7.2	Dokumen Pelaksanaan Konstruksi dan Peraturan	75
7.3	Sistematika Kontrak.....	76
7.3.1	Jenis Kontrak Pada Proyek Konstruksi.....	77
7.3.2	Kontrak yang Dipakai Pada Proyek.....	78
7.4	Sistem Administrasi Proyek.....	79
7.5	Time Schedule	83
7.5.1	Penjadwalan Proyek (Kurva S).....	83
7.6	Sistem Koordinasi.....	84
7.6.1	Struktur Organisasi dan Peran Koordinasi.....	84
7.6.2	Mekanisme Koordinasi yang Dilaksanakan	84
7.6.3	Pentingnya Sistem Koordinasi.....	84
7.7	Jadwal Pelaksanaan Pekerjaan.....	85
7.7.1	Tahapan Pelaksanaan Pekerjaan	85
7.7.2	Pengendalian dan Penalti	85
7.8	Rencana Kerja dan Syarat.....	85
BAB VIII KESIMPULAN.....		86
8.1	Kesimpulan	86
8.2	Saran	86

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta Lokasi Proyek	3
Gambar 2.1 Hubungan Waktu – Penurunan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban yang Diberikan	8
Gambar 2.2 <i>Effective Overburden Pressure</i>	11
Gambar 2.3 Jenis-jenis Metode Perbaikan Tanah	13
Gambar 2.4 Beban Lalu Lintas Perbaikan Tanah untuk Konstruksi Jalan	14
Gambar 2.5 Diameter ekivalen PVD (d_w).....	16
Gambar 3.1 Struktur Organisasi Proyek	20
Gambar 4.1 Diagram Alir Pelaksanaan Pekerjaan.....	25
Gambar 4.2 <i>Layout</i> Metode Pelaksanaan Pekerjaan.....	26
Gambar 4.3 Material <i>Geotextile Non - Woven</i> UNW-25HS.....	27
Gambar 4.4 Material <i>Horizontal Sand Drain</i>	27
Gambar 4.5 Material PVD <i>CeTeau Drain</i> CT-D1008.....	28
Gambar 4.6 Material <i>Settlement Plate</i>	28
Gambar 4.7 Peralatan Pemasangan PVD Tipe <i>Hydraulic Rig</i>	29
Gambar 4.8 Penggunaan Mandrel & Masdrel	29
Gambar 4.9 Mandrel dan Angkur Plat.....	30
Gambar 4.10 Tampilan <i>Data Logger</i>	30
Gambar 4.11 Tampilan Pengukuran Kedalaman PVD	31
Gambar 4.12 Bulldozer D31	31
Gambar 4.13 Penggelaran <i>Geotextile Non - Woven</i>	32
Gambar 4.14 Mesin Jahit <i>Portable</i>	32
Gambar 4.15 Penghamparan Material <i>Geotextile</i>	33
Gambar 4.16 Penyambungan Material <i>Geotextile</i>	33
Gambar 4.17 Hasil Instalasi <i>Geotextile Non - Woven</i>	33
Gambar 4.18 Instalasi <i>Horizontal Sand Drain</i>	34
Gambar 4.19 Hasil Instalasi <i>Horizontal Sand Drain</i>	34
Gambar 4.20 Pola Pemasangan PVD	35
Gambar 4.21 Penanda Posisi Titik PVD dengan Angkur Plat.....	35
Gambar 4.22 Pengukuran PVD.....	35
Gambar 4.23 Pemotongan PVD.....	36
Gambar 4.24 Pemotongan Ujung Atas PVD	36
Gambar 4.25 Hasil Instalasi PVD.....	37
Gambar 4.26 Penyambungan PVD.....	37
Gambar 4.27 Penyambungan PVD dengan Staples.....	37
Gambar 4.28 Pelaksanaan Pemasangan <i>Settlement Plate</i>	38
Gambar 5.1 Spesifikasi CeTeau-Drain CT-D1008.....	41
Gambar 6.1 Data N-SPT <i>Boring Log</i> 2 KIK	49
Gambar 6.2 Data N-SPT <i>Boring Log</i> 7 KIK	50

Gambar 6.3 Kedalaman Tanah Lunak berdasarkan N-SPT	51
Gambar 6.4 Beban Perkerasan Jalan.....	53
Gambar 6.5 Grafik Hubungan Tinggi Timbunan dengan Beban Lalu Lintas	55
Gambar 6.6 Gambar Kerja.....	56
Gambar 6.7 Grafik <i>Influence Factor</i>	58
Gambar 6.8 Tinggi Timbunan	62
Gambar 6.9 Grafik Hubungan Tinggi Timbunan Awal dan Akhir.....	63
Gambar 6.10 Grafik Hubungan Tinggi Timbunan Awal dengan Sc	64
Gambar 6.11 Grafik Hubungan Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi Alami Tanpa PVD	66
Gambar 7.1 Dokumen Pelaksanaan Konstruksi	75
Gambar 7.2 Dokumen Laporan Harian Pemasangan PVD.....	80
Gambar 7.3 Dokumen Laporan Progres Mingguan.....	81
Gambar 7.4 Dokumen Laporan Bulanan Pemasangan PVD	82
Gambar 7.5 <i>Time Schedule</i> Proyek Perbaikan Tanah Lunak (KIK).....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak.....	4
Tabel 2.2 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)	5
Tabel 2.3 Tipe Tanah berdasarkan Kadar Organik.....	5
Tabel 2.4 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah	6
Tabel 2.5 Hubungan Korelasi Parameter Tanah	7
Tabel 4.1 Peralatan Bantu Pekerjaan Pemasangan PVD	31
Tabel 5.1 Tabel Perbandingan Standard dan Spesifikasi Lapangan	42
Tabel 5.2 Tabel Perbandingan Standard dan Spesifikasi Lapangan	45
Tabel 6.1 Hasil Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah	51
Tabel 6.2 Hasil Korelasi e_0 , w_c , C_c , dan C_v	52
Tabel 6.3 Hasil Perhitungan Beban Lalu Lintas	54
Tabel 6.4 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=1 \text{ t/m}^2$	59
Tabel 6.5 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=3 \text{ t/m}^2$	59
Tabel 6.6 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=5 \text{ t/m}^2$	60
Tabel 6.7 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=7 \text{ t/m}^2$	61
Tabel 6.8 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=10 \text{ t/m}^2$	61
Tabel 6.9 Tabel Rekapitulasi Tinggi Timbunan	63
Tabel 6.10 Tinggi Timbunan Tanah	64
Tabel 6.11 Perhitungan Derajat Konsolidasi Alami Tanpa PVD	66
Tabel 6.12 Hasil Perhitungan Waktu Konsolidasi dengan PVD	68
Tabel 6.13 Hasil Perhitungan <i>Rate of Settlement</i>	72
Tabel 6.14 Hasil Perhitungan <i>Settlement Consolidation</i> untuk $q=6.96 \text{ t/m}^2$	73
Tabel 7.1 Detail Jadwal (Estimasi).....	85

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam dunia konstruksi, tanah merupakan salah satu unsur penting dalam pelaksanaan maupun perencanaan. Namun, kondisi tanah sering kali menjadi tantangan tersendiri bagi para *engineer*. Perbaikan tanah merupakan langkah krusial dalam pelaksanaan konstruksi, terutama pada kawasan dengan kondisi tanah yang lunak, lempung jenuh air, atau memiliki daya dukung rendah. Tanah-tanah semacam ini umumnya ditemukan di wilayah pesisir, rawa, atau delta sungai, seperti banyak area di Indonesia. Tanpa dilakukan perbaikan, tanah tersebut berpotensi menyebabkan penurunan (*settlement*) yang berlebihan, kegagalan struktur, serta ketidakstabilan jangka panjang pada bangunan dan infrastruktur yang dibangun di atasnya (Rizqullah, 2023).

Kondisi tanah lunak serupa ditemukan pada Proyek Perbaikan Tanah Lunak Daerah Kawasan Industri Kendal, yang berlokasi di Tambak, Wonorejo, Kec. Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Proyek perbaikan tanah ini dikerjakan oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul sebagai subkontraktor. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai metode perbaikan tanah dilaksanakan.

Salah satu metode yang sering digunakan adalah *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *preloading* dengan bantuan *vacuum* atau *surcharge* juga *horizontal sand drain*. PVD berfungsi mempercepat konsolidasi tanah lempung lunak dengan memberikan jalur vertikal bagi air pori untuk keluar, sehingga mempercepat proses pemadatan alami (Rizqullah, 2023). Sementara itu, *horizontal sand drain* adalah metode yang memanfaatkan tekanan tambahan untuk mendorong keluarnya air pori, yang juga mendukung proses konsolidasi (Bergado et al., 2010). Pelaksanaan proyek ini juga melibatkan instrumen geoteknik seperti *settlement plate* yang berperan penting dalam memantau dan mengukur efektivitas proses perbaikan tanah secara langsung.

Oleh karena itu, pada laporan kerja praktik ini dilakukan kajian mengenai karakteristik tanah dasar sebelum dilakukan perbaikan serta desain dan metode pelaksanaan PVD dan *horizontal sand drain*. Melalui kajian tersebut dapat diperoleh hasil mengenai kondisi tanah lunak di kawasan Kawasan Industri Kendal dengan karakteristik lempung lunak jenuh air dan daya dukung rendah menuntut penerapan metode perbaikan tanah yang tepat. Kombinasi penggunaan PVD dan *horizontal sand drain* yang didukung oleh *preloading* terbukti efektif dalam mempercepat proses konsolidasi dan meminimalisir risiko *settlement* pada proyek ini.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis hasil dari pemasangan PVD?
2. Bagaimana metode pelaksanaan PVD & *horizontal sand drain* diterapkan sebagai upaya peningkatan stabilitas tanah,serta apa saja tahapan pelaksanaannya?
3. Bagaimana perencanaan pemasangan dan pelaksanaan perbaikan tanah menggunakan PVD dan *preloading*?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Kegiatan dan luaran berupa laporan kerja praktik ini disusun dan diperuntukkan sebagai dokumen pelaporan kegiatan kerja praktik maupun pelajaran baru yang telah didapatkan selama masa kerja praktik di Proyek Perbaikan Tanah Lunak pada Daerah Kawasan Industri Kendal, tujuan dari program kerja praktik ini adalah agar mahasiswa dapat mengaplikasikan ilmu teknik sipil yang telah dipelajari pada masa perkuliahan ke dalam praktik nyata di lapangan. Selain itu, mahasiswa juga diharapkan mampu mengidentifikasi serta menganalisis berbagai permasalahan yang muncul selama proses pekerjaan berlangsung.

Manfaat dari dilaksanakannya program kerja praktik pada Proyek Perbaikan Tanah Lunak Pada Daerah Kawasan Industri Kendal adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis hasil dari pemasangan PVD.
2. Untuk mempelajari penerapan metode pelaksanaan perbaikan tanah menggunakan PVD & *horizontal sand drain* sebagai solusi teknik terhadap permasalahan stabilitas tanah.
3. Untuk mempelajari perencanaan mengenai pelaksanaan perbaikan tanah menggunakan PVD & *horizontal sand drain*.

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup kegiatan kerja praktik ini mencakup beberapa hal berikut:

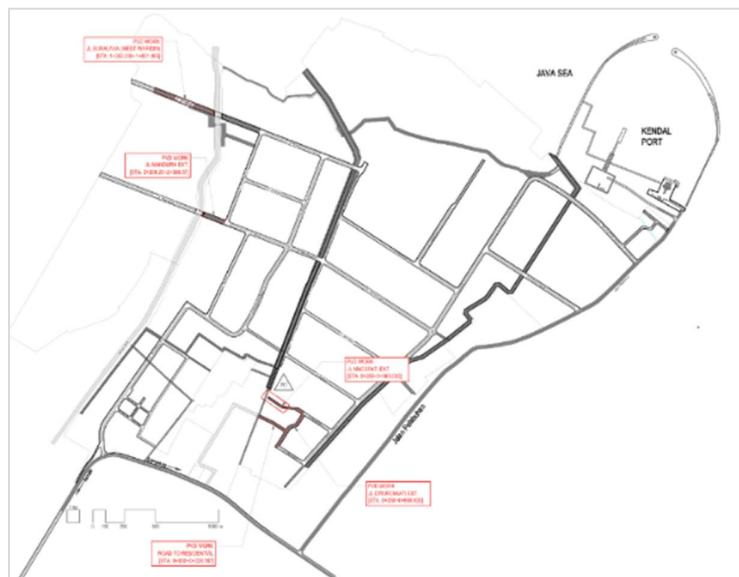
1. Uraian mengenai struktur organisasi yang diterapkan dalam pelaksanaan Proyek Perbaikan Tanah Lunak Pada Daerah Kawasan Industri Kendal.
2. Pembahasan metode pelaksanaan konstruksi dan perencanaan, khususnya pada Proyek Perbaikan Tanah Lunak Pada Daerah Kawasan Industri Kendal.
3. Penjelasan tentang proses manajemen dan administrasi proyek yang berlangsung pada periode bulan Juli 2025 hingga bulan September 2025 pada Proyek Perbaikan Tanah Lunak Pada Daerah Kawasan Industri Kendal.

1.5 Data Proyek

Berikut merupakan data proyek yang mencakup waktu,tempat pelaksanaan dan jadwal Kerja Praktik:

1. Nama Proyek : Perbaikan Tanah Lunak Di Daerah Kawasan Industri Kendal
2. Lokasi Proyek : Tambak, Wonorejo, Kec. Kaliwungu, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah
3. Tempat Kerja Praktik : PT. Teknindo Geosistem Unggul
4. Lingkup Kerja Praktik : 1. Perencanaan Pemasangan PVD
2. Perencanaan Timbunan *Preloading*
3. Pemasangan PVD
5. Waktu Kerja Praktik : 75 Hari

1.6 Peta Proyek



Gambar 1.1 Peta Lokasi Proyek

Sumber: PT. Teknindo Geosistem Unggul. (2025). Tender Drawing, hal. 3.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Lunak

2.1.1 Karakteristik Tanah Lunak

Keberadaan tanah lunak seringkali menjadi kendala besar dalam proyek konstruksi. Tanah lunak didefinisikan sebagai tanah kohesif yang sebagian besar tersusun atas partikel-partikel sangat halus, dengan karakteristik utama berupa nilai kohesi yang dominan (Sianturi et al., 2022). Selain itu tanah lunak punya karakteristik unik seperti kadar air yang sangat tinggi dan daya dukung yang rendah, menjadikannya kurang ideal sebagai pondasi bangunan (Putra & Makarim, 2020). Sifat-sifat ini juga menyebabkan tanah lunak memiliki kuat geser yang rendah dan potensi penurunan yang signifikan. Akibatnya, pembangunan di atas tanah lunak berisiko merusak struktur karena minimnya dukung. Oleh karena itu, sangat dianjurkan untuk membangun di atas tanah yang lebih keras dan stabil.

2.1.2 Klasifikasi Tanah Lunak

Dalam Panduan Geoteknik 1 (2002) tanah lunak dikategorikan menjadi dua jenis utama: lempung lunak dan gambut. Selain itu, terdapat juga kategori lempung organik sebagai material campuran.

Lempung lunak dicirikan oleh kandungan mineral lempung yang dominan dan kadar air yang tinggi. Karakteristik ini menyebabkan kuat geser lempung lunak menjadi rendah, sehingga kurang stabil untuk tujuan konstruksi. Sementara itu, gambut didefinisikan sebagai tanah yang sebagian besar terbentuk dari sisa-sisa tumbuhan. Lempung organik sendiri merupakan campuran antara lempung dan gambut dimana sifat dan perilakunya akan sangat dipengaruhi oleh jenis serta kuantitas sisa-sisa tumbuhan yang terkandung di dalamnya (Pusat Litbang Prasarana Transportasi, 2002).

Tanah lempung lunak dapat didefinisikan sebagai jenis lempung yang memiliki kuat geser di bawah 25 kN/m². Klasifikasi lebih lanjut mengenai lempung, termasuk hubungannya dengan parameter identifikasi, kuat geser, dan konsistensi, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Definisi Kuat Geser Lempung Lunak

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

Sumber: Pusat Litbang Prasarana Transportasi. (2002). Panduan Geoteknik 1
Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak, hal. 3.

Menurut Mochtar (2000) , konsistensi tanah lempung dan lanau dapat dikorelasikan dengan kuat gesernya. Klasifikasi ini dibedakan melalui hasil uji lapangan seperti *Cone Penetration Test (CPT)*, *Standard Penetration Test (SPT)*, dan Uji Geser *Vane*. Hasil pengujian ini mengelompokkan tanah ke dalam beberapa istilah konsistensi, yaitu sangat lunak (*very soft*), lunak (*soft*), sedang (*medium*), kaku (*stiff*), sangat kaku (*very stiff*), dan keras (*hard*), sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Korelasi N-SPT dan Konsistensi Tanah (untuk tanah dominan lanau dan lempung)

Konsistensi Tanah	Taksiran Harga kekuatan Geser <i>Undraine (Cu)</i>		Taksiran Harga N-SPT	Taksiran Harga Tahanan Conus (qc)	
	kPa	ton/m ²		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	0 – 12,5	0 – 1,25	0 – 2,5	0 - 10	0 - 1000
Lunak (<i>soft</i>)	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 - 5	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (<i>medium</i>)	25 – 50	2,5 - 5	5 - 10	20 - 40	2000 - 4000
Kaku (<i>stiff</i>)	50 – 100	5 - 10	10 - 20	40 - 75	4000 - 7500
Sangat kaku (<i>very stiff</i>)	100 – 200	10 - 20	20 - 40	75 - 150	7500 - 15000
Keras (<i>hard</i>)	>200	>20	>40	>150	>15000

Sumber: Mochtar, I. B. (2000). Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah.

Klasifikasi tipe tanah dalam rekayasa geoteknik utamanya didasarkan pada kandungan bahan organiknya. Perbedaan ini dapat dilihat lebih jelas dalam Tabel 2.3 Tipe Tanah berdasarkan kadar organik, yang menguraikan pengelompokan berdasarkan kadar organik.

Tabel 2.3 Tipe Tanah berdasarkan Kadar Organik

Jenis Tanah	Kadar Organik (%)
Lempung	<25
Lempung Organik	25 - 75
Gambut	>75

Sumber: Pusat Litbang Prasarana Transportasi. (2002). Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-sifat Dasar Tanah Lunak, hal. 4.

2.1.3 Korelasi N-SPT Tanah Lunak

Parameter tanah merupakan sifat-sifat fisik dan mekanis tanah yang digunakan sebagai dasar dalam analisis serta perhitungan konstruksi geoteknik (Wilkinson & DeGennaro, 2007). Parameter ini biasanya diperoleh dari hasil investigasi tanah di lapangan maupun uji laboratorium. Namun karena keterbatasan data tanah maka dapat dilakukan korelasi N-SPT untuk mendapatkan parameter tanah yang diperlukan dalam perancangan.

1. Berat Volume Tanah

Menurut Bowles (1984) yang dikutip dalam Maulidha et al. (2022), nilai N-SPT memiliki korelasi dengan beberapa parameter tanah, salah satunya adalah berat volume tanah kohesif sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Variasi Korelasi N-SPT dengan Berat Volume Tanah

Cohesionless						
N	(blows)	0 – 3	4 – 10	11 – 30	31 – 50	>50
γ	(kN/m³)	-	12 – 16	14 – 18	16 – 20	18 – 23
ϕ	°	-	25 – 32	28 – 35	30 – 40	>35
State		Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
Dr	(%)	0 – 15	15 – 35	35 – 65	65 – 85	85 – 100
Cohesive Soil						
N	(blows)	<4	4 – 6	6 – 15	16 – 25	>25
γ	(kN/m³)	14 – 18	16 – 18	16 – 18	16 – 20	>20
qu	kPa	<25	20 – 50	30 – 60	40 – 200	>100
Consistency		Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber: Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah.

2. Angka Pori (e), Kadar Air (w), Indeks Kompresi (Cc), dan Koefisien Konsolidasi (Cv)

Menurut Magnan (1982), terdapat hubungan yang saling berkaitan antara parameter fisik dan mekanik tanah, khususnya pada tanah lempung jenuh. Angka pori (e) berhubungan langsung dengan kadar air alami (w), di mana semakin besar nilai e maka kadar air yang terkandung dalam tanah juga semakin tinggi.

Indeks kompresi (Cc) dipengaruhi oleh angka pori awal (e_0) dan batas *Atterberg*, sehingga tanah dengan angka pori besar umumnya memiliki nilai Cc yang lebih tinggi dan bersifat lebih kompresibel. Untuk menentukan nilai Cc digunakan persamaan empiris yang dikemukakan oleh Hough dalam *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering* (Ameratunga et al., 2016) yaitu:

$$C_c = 0.3(e_0 - 0.27) \quad [2.1]$$

Dimana:

C_c = indeks kompresi
 e_0 = angka pori awal

Sementara itu, koefisien konsolidasi (C_v) dipengaruhi oleh sifat permeabilitas dan kompresibilitas tanah. Oleh karena itu, pemahaman korelasi antarparameter ini menjadi dasar penting dalam analisis konsolidasi untuk memprediksi penurunan pada tanah lunak.

Tabel 2.5 Hubungan Korelasi Parameter Tanah

Nature des sols	VALEURS NUMÉRIQUES DE COMPACTÉ ET CONSOLIDATION						consolidation								
	compacité (G = 2,7)						consolidation								
	γ_d	e^*	n	w _{sat}	γ_{sat}^*	%	K		C_v		\bar{v}	$m_v = \frac{1}{E}$			
g/cm ³	lb cb/ft			%	g/cm ³	cm/s	ft/year	lugeon ¹	cm ² /s	ft ² /year	bars	psi	cm ² /kg	ft ² /ton	
	0.5	31.25	4.40	0.80	163.0	1.31	10 ⁻⁹	1.03 10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	0.01	0.142	100	97.8	
	0.6	37.50	3.50	0.78	129.6	1.38					0.05	0.71	20	19.5	
	0.7	43.75	2.86	0.74	105.8	1.44	10 ⁻⁸	1.03 10 ⁻²	10 ⁻³	1.10 ⁻⁴	3.4				
	0.8	50.00	2.28	0.70	89.0	1.50	10 ⁻⁷	1.03 10 ⁻¹	10 ⁻²						
	0.9	56.25	2.00	0.67	74.1	1.57									
Argiles molles	1.0	62.50	1.70	0.63	63.0	1.63	1.10 ⁻⁶	1.03	0.1	5	16.9	2	28.4	0.5	0.976
	1.1	68.75	1.45	0.59	53.9	1.69	2	2.06		6	20.3	3	42.6	0.33	0.325
	1.2	75.00	1.25	0.55	45.3	1.76	3	3.10		7	23.6	4	56.6	0.25	0.244
	1.3	81.25	1.08	0.52	39.9	1.82	4	4.13		8	27.0	5	71.0	0.20	0.195
	1.4	87.50	0.93	0.48	34.4	1.88	5	5.17		9	30.4	6	85.3	0.17	0.163
Argiles moyennes	1.5	93.75	0.80	0.44	29.6	1.94	6	6.20		10 ⁻³	33.8 10 ¹	7	99.5	0.14	0.144
	1.6	100.00	0.69	0.41	25.5	2.01	7	7.24				8	113	0.12	0.122
	1.7	106.25	0.59	0.37	21.8	2.07	8	8.26				9	127	0.11	0.111
	1.8	112.50	0.50	0.33	18.5	2.13	9	9.30		10 ⁻²	3.38 10 ²	10	142	0.10	0.0976
	1.9	118.75	0.42	0.30	15.6	2.20	10	10.33		10 ⁻¹	3.38 10 ³	11	156	0.091	0.0887
Sables, graviers à granule étendue	2.0	125.00	0.35	0.26	13.0	2.26	10 ⁻⁵	1.03 10 ⁻²	1			12	170	0.083	0.0815
	2.1	131.25	0.29	0.22	10.6	2.32	10 ⁻⁴	1.03 10 ⁻¹	10			13	185	0.077	0.075
	2.2	137.50	0.23	0.19	8.4	2.39	10 ⁻³	1.03 10 ⁰	100			14	199	0.071	0.07
	2.3	143.75	0.17	0.15	6.4	2.45	10 ⁻²	1.03 10 ¹	1000			15	213	0.064	0.065
	2.4	150.00	0.13	0.11	4.63	2.51	10 ⁻¹	1.03 10 ²	10000			20	284	0.050	0.0488
	2.5	156.25	0.080	0.074	2.95	2.57					50	710	0.020	0.0195	
	2.6	162.50	0.038	0.037	1.42	2.64					100	1420	0.010	9.75 10 ⁻³	
	2.7	168.75	0.000	0.000	0.00	2.70					500	7100	0.002	1.95 10 ⁻²	
											1000	14200	0.001	9.76 10 ⁻⁴	

longueurs : 1 ft = 0,305 m = 12"
1 in = 25,4 mm
masse : 1 lb = 453,59 g
masse vol. : 1 lb/cub.ft = 0,016 g/cm³
* $\gamma_{sat}^* = \gamma_{sat} - 1$ * $e = \frac{\gamma_w}{\gamma_d} - 1$

vitesses (perméabilité) :
1 ft/mn = 0,508 cm/s
1 ft/year = 0,968 10⁻⁵ cm/s
1 lugeon = 10⁻⁵ cm/s
* 1 lugeon = 1 litre/mn/m sous 10 kg/cm² de pression pour une poche de 5 m de long (essai de roches)

coefficient de consolidation :
1 ft²/year = 2,96 10⁻⁵ cm²/s
1 ft²/mn = 0,107 cm²/s

pressions :
1 ton/sq.ft = 0,976 kg/cm²
1 psi = 0,0703 kg/cm²
1 lb./sa.ft = 0,488 10⁻³ kg/cm²
1 bar = 10⁷/m² = 9,81 10⁶ Pascal

ECOLE CENTRALE DE PARIS
Tableaux pour élèves de 3^e année

Sumber: Magnan, J. P. (1982). Les Méthodes Statistiques et Probabilistes en Mécanique Des.

2.2 Teori Konsolidasi

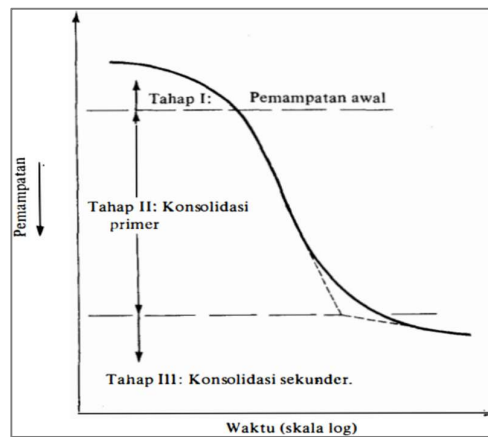
Konsolidasi tanah didefinisikan sebagai proses pengecilan volume yang terjadi secara bertahap pada tanah yang jenuh sempurna dan memiliki permeabilitas rendah (Sutrianingsih et al., 2018). Fenomena ini disebabkan oleh pengaliran sebagian air pori keluar dari rongga tanah. Proses ini akan terus berlangsung hingga seluruh kelebihan tegangan air pori yang timbul akibat peningkatan tegangan total menghilang sepenuhnya (Craig, 1989). Secara umum, tahapan konsolidasi ini dapat divisualisasikan melalui grafik yang menunjukkan hubungan antara penurunan tanah dan waktu.

Berdasarkan Gambar 2.1, proses penurunan tanah dibagi menjadi tiga tahapan yang berbeda:

Tahap I: Penurunan Awal (*Initial Compression*), dimana deformasi yang terjadi secara instan setelah beban diaplikasikan. Tahap ini disebabkan oleh keluarnya udara dari pori-pori tanah akibat penekanan.

Tahap II: Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation*), merupakan periode di mana tegangan air pori secara bertahap berpindah menjadi tegangan efektif, yang terjadi sebagai konsekuensi dari keluarnya air dari rongga pori tanah.

Tahap III: Konsolidasi Sekunder (*Secondary Consolidation*), yaitu proses yang terjadi setelah tegangan air pori menghilang sepenuhnya. Penurunan yang diamati pada tahap ini disebabkan oleh penyesuaian plastis pada butiran-butiran tanah setelah konsolidasi primer selesai.



Gambar 2.1 Hubungan Waktu – Penurunan Selama Konsolidasi untuk Suatu Penambahan Beban yang Diberikan

Sumber: Das, Braja M. (1994). Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik), hal. 186.

Besaran penurunan dan waktu tunggu konsolidasi sangat bervariasi, dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis dan ketebalan tanah lunak, permeabilitas, serta intensitas dari beban yang bekerja (Muntohar, 2004). Tanah lunak dengan permeabilitas rendah cenderung memperlambat proses keluarnya tekanan air pori akibat pembebanan, sehingga konsolidasi memakan waktu yang lama. Kondisi ini dapat menimbulkan permasalahan jangka panjang bagi konstruksi di atasnya, sehingga diperlukan metode perbaikan tanah agar penurunan akibat konsolidasi dapat segera tercapai. Proses konsolidasi dianggap tercapai ketika nilai penurunan tanah telah mencapai 90% dari nilai konsolidasi primernya atau derajat konsolidasi 90% (Das, 1994), yang ditandai dengan tidak adanya penurunan signifikan lebih lanjut akibat beban yang bekerja.

2.3 Penurunan Tanah (*Settlement*)

Tanah sebagai material yang bersifat mampu mampat (*compressible*) dapat mengalami pemampatan akibat beragam faktor seperti deformasi

partikelnya, perpindahan lokasi partikel tanah, atau keluarnya air dan udara dari pori-porinya (Tambunan & Sinaga, 2008). Penurunan tanah yang terjadi akibat beban yang bekerja di atasnya dapat dikelompokkan menjadi dua kategori utama, sebagaimana dijelaskan oleh Das et al., (1991):

1. Penurunan Seketika (*Immediate Settlement*)

Penurunan seketika adalah deformasi yang terjadi pada lapisan tanah segera setelah beban eksternal diaplikasikan, tanpa disertai perubahan kadar air di dalam tanah.

2. Penurunan Konsolidasi Primer (*Primary Consolidation Settlement*)

Penurunan konsolidasi primer merupakan pemampatan volume yang diakibatkan oleh keluarnya air pori dari rongga tanah kohesif yang jenuh. Proses ini terjadi seiring dengan berjalannya waktu akibat beban yang bekerja.

Penurunan tanah total menurut (Das et al., 1991) adalah sebagai berikut:

$$S_t = S + S_s + \rho_i \quad [2.2]$$

Dimana:

- S_t = total *settlement*
- S = *consolidation primer settlement*
- S_s = *consolidation secondary settlement*
- ρ_i = *immediate settlement*

2.3.1 Penurunan Konsolidasi Primer

Penurunan konsolidasi primer (*primary consolidation settlement*) terjadi akibat pemampatan volume tanah, yang disebabkan oleh deformasi partikel tanah dan keluarnya air atau udara dari pori-pori tanah (Cassiopea, 2014). Saat lapisan tanah jenuh dengan permeabilitas rendah diberi beban, tekanan air pori di dalamnya akan meningkat (Rizal et al., 2016). Perbedaan tekanan air pori ini menyebabkan air mengalir ke area dengan tekanan yang lebih rendah, yang kemudian diikuti oleh penurunan permukaan tanah. Mengingat rendahnya permeabilitas, kecepatan proses penurunan ini sangat dipengaruhi oleh seberapa cepat air pori dapat keluar dari rongga tanah.

Penurunan untuk tanah yang terkonsolidasi normal (*normally consolidated*) adalah jenis tanah di mana tekanan efektif *overburden* yang sedang dialaminya saat ini merupakan tekanan maksimum tertinggi yang pernah bekerja pada tanah tersebut.

$$S_c = \frac{c_c H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \quad [2.3]$$

Dengan:

- S_c = besar *settlement*

- C_c = indeks kompresi
 H = ketebalan lapisan tanah yang ditinjau
 e_0 = *void ratio* awal
 σ'_0 = tegangan *overburden* efektif
 $\Delta\sigma'$ = penambahan tegangan efektif

Untuk tanah terkonsolidasi lebih (*over consolidated*) merujuk pada kondisi di mana tekanan efektif *overburden* yang sedang dialami tanah di kedalaman tertentu saat ini lebih kecil daripada tekanan maksimum yang pernah diterimanya di masa lalu. Tekanan maksimum sebelumnya ini dikenal sebagai tegangan prakonsolidasi (*preconsolidation pressure*). Untuk menghitung besarnya penurunan pada tanah jenis ini, digunakan persamaan sebagai berikut:

Jika $\sigma'_0 + \Delta\sigma' \leq \sigma_c$, maka:

$$S_c = H \left(\frac{C_s}{1+e_0} \log \left(1 + \frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_0} \right) \right) \quad [2.4]$$

Jika $\sigma'_0 + \Delta\sigma' \geq \sigma_c$, maka:

$$S_c = H \left(\frac{C_s}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma_c}{\sigma'_0} \right) + \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'}{\sigma_c} \right) \right) \quad [2.5]$$

Dimana:

- H = tebal lapisan tanah lempung (m)
 e_0 = angka pori awal (*Initial Void Ratio*)
 C_c = *compression index*
 C_s = *swelling index*
 $\Delta\sigma$ = penambahan tegangan efektif (t/m^2)
 σ'_0 = tegangan *overburden* efektif (t/m^2)
 σ_c = tegangan prakonsolidasi (t/m^2)

1. Tegangan *Overburden* Efektif

Perhitungan *effective overburden pressure* (σ'_0) dilakukan sebagai langkah awal analisis konsolidasi. Nilai σ'_0 ditentukan dari kedalaman (Z) dan berat isi tanah (γ), sesuai teori konsolidasi Braja M. Das (2010), serta menjadi dasar untuk menghitung tegangan tambahan akibat beban timbunan.

$$\sigma' = \gamma' \times Z \quad [2.6]$$

Dimana:

- γ' = berat volume efektif tanah (t/m^3)
 Z = kedalaman tanah (m)