

TUGAS AKHIR
PERBAIKAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE
***PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* PADA PROYEK PEMBANGUNAN**
JALAN TOL SEMARANG-DEMAK SEKSI 2

Tugas Akhir Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil
Jurusan Teknik Sipil FT UNP



Oleh:
OLYVIA GEMALA RANTY
NIM. 17323081

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2021

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

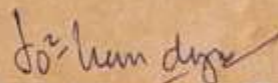
PERBAIKAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE
PREFABRICATED VERTICAL DRAIN PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL SEMARANG-DEMAK SEKSI 2

Nama : Olyvia Gemala Ranty
TM/NIM : 2017/17323081
Program Studi : S-1 Teknik Sipil
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Padang, 19 Februari 2021

Disetujui Oleh:

Dosen Pembimbing



Totoh Andayono, ST., MT

NIP. 19730727 200501 1 003

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Faisal Asbar, Ph.D.

NIP. 19750103 200312 1 001

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PERBAIKAN TANAH DENGAN MENGGUNAKAN METODE
PREFABRICATED VERTICAL DRAIN PADA PROYEK PEMBANGUNAN
JALAN TOL SEMARANG-DEMAK SEKSI 2

Nama : Olyvia Gemala Ranty
TM/NIM : 2017/17323081
Program Studi : S-1 Teknik Sipil
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan dinyatakan Lulus sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Padang, Februari 2021


Dewan Penguji

1. Totoh Andayono, ST., MT

:  (.....)

2. Dr. Eng. Prima Yane Putri, ST., MT

:  (.....)

3. Dr. Ari Syaiful Rahman Arifin, ST., MT :  (.....)

BIODATA



A. Data Pribadi

Nama	: Olyvia Gemala Ranty
Tempat, Tanggal Lahir	: Kuala Lumpur, 22 September 1999
Agama	: Islam
Anak Ke	: 3
Jumlah Saudara	: 3
Nama Ayah	: Yurizal, SH, M.Sc
Nama Ibu	: Dr. Ir. Enita M.Agr, Sc
Alamat Tetap	: Jl. Gn Merapi Blok C No.1 Wisma Indah V, Kel, Bungo Pasang, Kec. Koto Tangah, Kota Padang
e-mail	: olyviaranty@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

Sekolah Dasar	: SD N 112 Muara Bulian, Jambi
Sekolah Menengah Pertama	: SMP N 31 Padang
Sekolah Menengah Kejuruan	: SMA N 8 Padang
Perguruan Tinggi	: Universitas Negeri Padang

C. Tugas Akhir

Judul	: Perbaikan Tanah dengan Menggunakan Metode <i>Prefabricated Vertical Drain</i> pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2
Tanggal Sidang	: 19 Februari 2021



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 26171
Telp. (0751) 7059996, FT. (0751) 7055644, 445118 Fax. 7055644
E-mail : info@ft.unp.ac.id

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

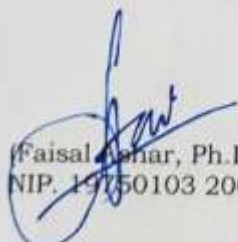
Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : OLYVIA GEMALA RANTY
NIM/TM : 1323081 / 2017
Program Studi : TEKNIK SIPIL (NK)
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul Pertbaikan Tanah dengan Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drain Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak Seksi 2.

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara. Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Sipil


(Faisal Anwar, Ph.D)
NIP. 19750103 200312 1 001

Saya yang menyatakan,


Olyvia Gemala Ranty

Abstrak

Olyvia Gemala Ranty. 2021 Perbaikan Tanah dengan menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drain (PVD) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2.”

Penelitian ini tentang Alternatif Teknik Perbaikan Tanah dengan menggunakan Metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2. Latar belakang penelitian ini adalah besarnya nilai konsolidasi tanah dan rendahnya daya dukung tanah untuk timbunan dasar konstruksi jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecocokan perbaikan tanah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak dengan melakukan pengujian kadar air tanah, konsolidasi tanah, daya dukung tanah dan tes kepadatan tanah. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang melibatkan numerik dalam pengumpulan data, pengolahan data, dan hasil pengolahan data. Pengambilan data meliputi data primer dan data sekunder yang diperoleh langsung di lapangan dan dokumen proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2. Pengujian yang dilaksanakan langsung di lapangan meliputi pengujian kadar air tanah, konsolidasi tanah, sondir dan kepadatan tanah. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, kadar air pada tanah dasar berkurang sebesar 50% dari kadar air awal sebelum dilakukan perbaikan, rata-rata konsolidasi tanah selama 3 bulan sebesar 4,48 mm, serta rata-rata kepadatan tanah setelah dilakukan perbaikan mencapai 96,74%. Dari hasil analisis data yang dilakukan teknik perbaikan tanah dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2 cocok digunakan karena telah sesuai dengan persyaratan pada SNI 03-1742-2008 setelah dilakukan perbaikan tanah.

Kata Kunci: Alternatif Teknik Perbaikan Tanah, *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), Pembangunan Jalan Tol

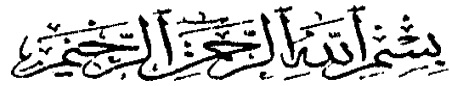
Abstract

Olyvia Gemala Ranty. 2021. “Soil Improvement Using the Prefabricated Vertical Drain Method in the Semarang-Demak Section 2 Toll Road Construction Project”

This research is about Alternative Soil Improvement Techniques using the Prefabricated Vertical Drain (PVD) Method in the Semarang-Demak Toll Road Development Project Section 2. The background of this research is a lots of the value of soil consolidation and the low carrying capacity of the soil for basic road construction embankments. This study aims to obtain the suitability of soil improvement in the Semarang-Demak Toll Road Development Project by testing groundwater content, soil consolidation, soil bearing capacity and soil density tests. This research is a quantitative research that involves numerical data collection, data processing, and data processing results. Data collection includes primary data and secondary data obtained directly in the field include testing the soil water content, soil consolidation, sondir and soil density. Based on the results of the research that has been carried out, the water content in subgrade is reduced by 50% from the initial moisture content before repairing, the average soil consolidation dor 3 month is 4,48 mm, and the average soil density after repairs is 96,74% from the results of data analysis carried out soil improvement technique using the prefabricated vertical drain method on the Semarang-Demak Toll Road Construction Project Section 2 is suitable because it is in accordance with the requirements of SNI 03-1742-2008 after soil repair has been carried out.

Keywords: *Alternative Soil Improvement Techniques, Prefabricated Vertical Drain, Toll Road Construction*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Salawat beriring salam penulis ucapkan kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wasallam beserta para sahabatnya yang telah membawa umatnya kealam penuh pengetahuan seperti saat ini, sehingga penulis penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "Perbaikan Tanah Dengan Menggunakan Metode Prefabricated Vertical Drain Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2". Sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Padang.

Selama penulisan Tugas akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan serta support dari berbagai pihak. Sehingga pada kesempatan ini penulis ingin ucapkan rasa terimakasih yang tidak terhingga kepada:

1. Bapak Totoh Andayono, ST.,MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir ini yang telah banyak memberikan masukan dan saran-saran kepada penulis sejak awal sampai kepada terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Bapak Faisal Ashar, ST.,MT.,Ph.D selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang serta dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan masukan dan saran yang membangun.

3. Ibu Dr. Eng. Prima Yane Putri, ST.,MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang serta selaku dosen penguji Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ari Syaiful Rahman Arifin, ST., MT selaku dosen Penguji Tugas Akhir ini.
5. Bapak dan ibu dosen serta staff Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah memberikan pengetahuan dan jasanya kepada penulis selama mengikuti perkuliahan.
6. Bapak Ir. Handoko Yudianto selaku Direktur Utama PT.Pembangunan Perumahan Semarang Demak yang telah mengizinkan penulis untuk dapat melaksanakan Penelitian di Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2
7. Bapak Sahadewo Nalendro Bhawono, S.T, Ibu Nina, Bapak Wahyu Darmawan, S.T, dan Bapak Andi Kusworo,S.T yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada penulis dalam pelaksanaan penelitian di Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2
8. Mas Joshua, Mas Herdian, Mas Riswanda, Mas Iqbal, Mba Fairuz, Mba Khusnul, Mba Dila yang telah membimbing dan menyemangati penulis untuk melakukan penelitian dari awal hingga akhir di PT. Pembangunan Perumahan Semarang Demak
9. Semua staff dan pegawai di PT Pembangunan Perumahan Semarang Demak yang telah berbagi ilmu dan keterampilan khususnya terkait teknik sipil selama Penulis melaksanakan Penelitian

10. Bapak dan Ibu dari PT. Pembangunan Perumahan, PT. Virama Karya dan PT. Wijaya Karya yang telah memberikan ilmu terkait penelitian
11. Kepada Zaimah, Ghina, Husna dan Vivi yang memberikan semangat dan ide-ide selama penulis melakukan penelitian di Semarang
12. Kepada para sahabat yaitu: Ulfa Tishabihat, ST, Engla Bresma, ST, Hasra Nofriani,S.Pd, yang telah memberikan semangat dan masukan kepada penulis selama pembuatan Tugas Akhir ini
13. Kepada Muhammad Ricky Luandra, ST yang turut memberikan dukungan yang mendorong penulis untuk terus berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini
14. Rekan-rekan Jurusan Teknik Sipil angkatan 2017, dan semua ihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu disini
15. Teristimewa kepada mamiku Dr.Ir Enita, M.Agr, Sc, papiku Yurizal, SH, M.Sc, kedua abangku Persi Laseria Reski,ST, dan Rahmat Tridio Sahputra,ST serta kakakku Santina Dwi Putri S.Pd yang telah memberi dukungan baik moril maupun materil yang sangat mendorong penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini demi terwujudnya cita-cita penulis

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan saran, masukan, dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan semua pihak khususnya mahasiswa Fakultas Teknik.

Padang, Februari 2021

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah.....	5
D. Rumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
A. Tanah.....	7
1. Klasifikasi Tanah	8
2. Sifat Fisik Tanah	15
3. Sifat Mekanik Tanah	18
4. Parameter Tanah.....	23
5. Daya Dukung Tanah	25
6. Perbaikan Tanah.....	26
B. Drainase Vertikal	35
1. Cara Kerja Drainase Vertikal	36
2. Tipe-Tipe Drainase Vertikal.....	37
C. <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	35
1. Bahan.....	40
2. Kuat Tarik	41
3. Filter	41
4. Kapasitas Debit	41

BAB III METODE PENELITIAN	44
A. Lingkup Penelitian	44
B. Waktu dan Tempat Penelitian	44
C. Alat dan Bahan.....	44
1. Alat.....	45
2. Bahan.....	45
D. Sumber Data.....	46
1. Data Primer	46
2. Data Sekunder	46
E. Metode Pengumpulan Data	46
1. Kajian Literatur	46
2. Survey Lapangan.....	47
3. Pengambilan Data	47
4. Pengujian.....	47
5. Pengolahan Data.....	47
F. Langkah-langkah Pengolahan Data.....	48
1. Data Primer	48
2. Data Sekunder	53
G. Analisis Data	53
H. Diagram Alir Penelitian	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	55
A. Hasil Pengujian Sebelum Perbaikan Tanah	55
B. Hasil Pengujian Setelah Perbaikan Tanah.....	58
C. Analisis Perbandingan.....	61
D. Pembahasan	62
BAB V PENUTUP.....	44
A. Kesimpulan	63
B. Saran	63
DAFTAR PUSTAKA	64
LAMPIRAN.....	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Ukuran Butiran	9
Tabel 2. Klasifikasi Tanah Berdasarkan AASHTO	12
Tabel 3. Indeks Plastisitas dan macam tanah	17
Table 4. Nilai Es Berdasarkan Jenis Tanah.....	24
Tabel 5. Nilai Poisson Ratio Berdasarkan Jenis Tanah	24
Tabel 6. Nilai Sudut Geser Dalam Berdasarkan Jenis Tanah	25
Tabel 7. Pengelompokkan Metode Perbaikan Tanah.....	32
Table 8. Tipe Perbaikan Tanah dan Tujuannya	32
Tabel 9. Metode Perbaikan Tanah yang Disesuaikan dengan Tujuannya ..	33
Tabel 10. Metode Perbaikan Tanah untuk Remediasi Area.....	34
Table 11. Tipe Drainase Vertikal dan Cara Pemasangannya	39
Tabel 12. Syarat Bahan PVD	40
Tabel 13. Syarat Bahan PVD berdasarkan SNI	43
Table 14. Kadar Air pada STA 12+175	55
Tabel 15. Hasil Uji Kadar Air	56
Tabel 16. CPT pada STA 12+175	57
Tabel 17. Hasil Uji CPT.....	57
Table 18. Kadar Air pada STA 12+175	58
Tabel 19. Hasil Uji Kadar Air	59
Tabel 20. Konsolidasi Tanah.....	60
Tabel 21. Hasil Uji Kepadatan	60
Tabel 20. Analisis Perbandingan.....	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Peta Geologi	3
Gambar 2. Peta Laju Penurunan Tanah.....	4
Gambar 3. Klasifikasi Tanah Menurut USDA.....	10
Gambar 4. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS.....	14
Gambar 5. Pemasangan PVD.....	38
Gambar 6. <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD).....	39
Gambar 7. Kadar Air Tanah.....	49
Gambar 8. <i>Settlement Plate</i>	49
Gambar 9. <i>Cone Penetration Test</i> (CPT).....	51
Gambar 10. Uji <i>Sand Cone</i>	52
Gambar 11. Pengujian CBR.....	55
Gambar 12. Pengujian <i>Settlement Plate</i>	55
Gambar 13. Bacaan <i>Settlement Plate</i>	55

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Sebelum Perbaikan	67
Lampiran 2. Perhitungan Setelah Perbaikan	81
Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian	93
Lampiran 4. Surat Tugas Dosen Pembimbing	116
Lampiran 5. Surat Izin Pengambilan Data	117
Lampiran 4. Catatan Konsultasi	118

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

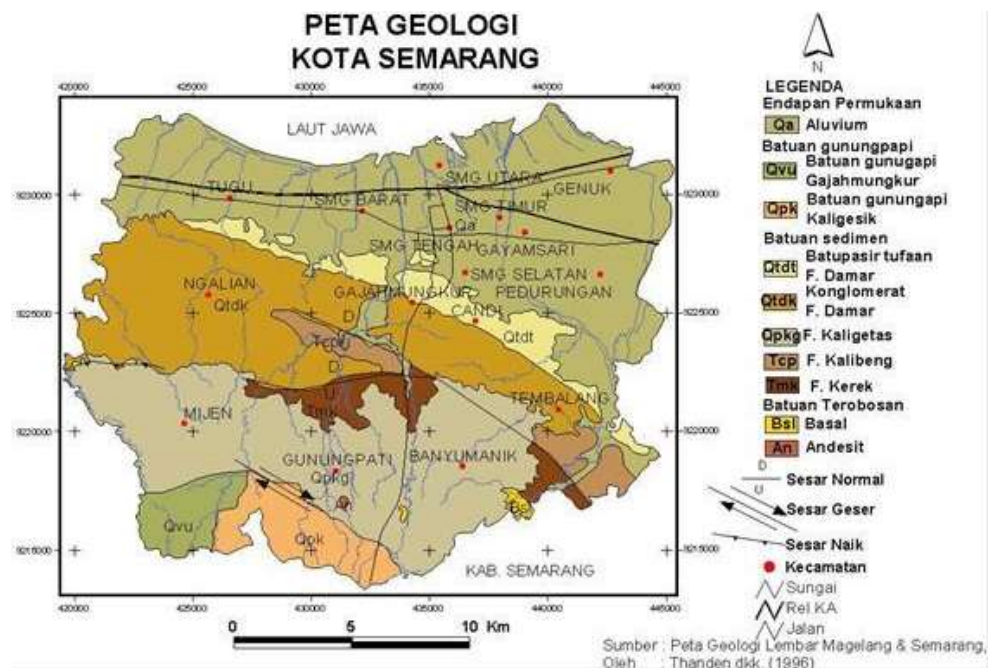
Infrastruktur ialah sistem fisik yang menyediakan sarana pengairan, transportasi, bangunan gedung serta sarana publik yang lain diperlukan guna memenuhi kebutuhan dasar kehidupan manusia baik dari segi sosial ataupun segi ekonomi (Maryati, 2014). Infrastruktur memiliki peranan penting untuk pertumbuhan ekonomi dari bermacam komponen seperti: Perencanaan dan peremajaan kota, drainase, pengolahan air limbah, dan pembangunan jalan. Jalan tol merupakan salah satu bagian dari infrastuktur yang diperlukan di Indonesia guna mengurangi inefisiensi akibat kemacetan pada ruas utama jalan serta guna tingkatkan pelayanan distribusi jasa dan barang di Indonesia.

Pembangunan jalan tol di Indonesia sudah dimulai sejak tahun 1978, yang dikenal dengan tol Jagorawi yang menghubungkan antara Kota Jakarta–Bogor–Ciawi sepanjang 59 km. Pembangunan jalan tol tersebut terus berjalan seiring berjalannya waktu, hingga tahun 2019 telah beroperasi sepanjang 2.093 km, dan sampai akhir tahun 2020 akan dioperasikan sepanjang 2.303,8 km. Target Kementerian PUPR (Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat) selanjutnya akan membangun 2.724 km jalan tol baru di seluruh Indonesia hingga tahun 2024. Dengan demikian total ruas jalan tol di seluruh Nusantara akan mencapai panjang 4.817 km. Berdasarkan target kementerian PUPR Sebanyak 64 ruas jalan tol merupakan Proyek Strategis Nasional (PSN) sesuai Peraturan Presiden

(Perpres) No. 56/2018 tentang percepatan pelaksanaan PSN secara keseluruhan (PUPR, 2020). Salah satu ruas jalan tol yang masuk dalam PSN adalah Jalan Tol Semarang–Demak dengan panjang \pm 27 km.

Pembangunan beberapa ruas jalan tol di Provinsi Jawa Tengah termasuk dalam PSN karena Jawa Tengah merupakan wilayah strategis yang menjadi penghubung pintu gerbang perekonomian wilayah barat dan wilayah timur Indonesia. Pada bulan Desember 2019 secara resmi dimulai proyek pembangunan Jalan Tol Semarang–Demak yang melalui Kecamatan Genuk, Kecamatan Sayung, Kecamatan Karangtengah, Kecamatan Wonosalam dan Kecamatan Demak (PP, 2019). Dalam pelaksanaannya Jalan Tol Semarang-Demak terbagi menjadi 2 seksi yaitu: Seksi 1 (STA 0+000-10+690) Semarang–Sayung dan seksi 2 (STA 10+690-27+000) Sayung–Demak (PP, 2019).

Daerah–daerah yang di lalui oleh Jalan Tol Semarang–Demak ini memiliki karakteristik tanah yang tidak jauh berbeda pada setiap kecamatan yang dilalui dapat dilihat pada peta geologi tanah Pada **Gambar 1**. Secara geografis merupakan daerah perumahan, sawah dan tambak ikan. Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak ini terdiri dari 2 jenis konstruksi yakni jalan tol dan juga tanggul laut. Tujuan dibangunnya Jalan Tol Semarang-Demak ialah sebagai penghubung 2 tempat yaitu kota Semarang dan Kabupaten Demak yang dikhususkan untuk kendaraan bersumbu dua atau lebih (Mobil, bus dan truk) guna mempersingkat waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain atau disebut jalan bebas hambatan.



Gambar 1. Peta Geologi

Sumber: Peta Geologi Lembar Magelang & Semarang

Kota Semarang terbentuk dari tekstur tanah endapan (aluvial), yang memiliki ketinggian 2 meter dari bawah permukaan laut hingga 340 meter diatas permukaan laut, dengan kemiringan lereng 0%-45%. Kota ini memiliki iklim basah yang rata-rata curah hujan tahunannya sebesar 2.780 mm (Soedarsono, 2012). Sedangkan wilayah Kabupaten Demak terdiri atas tekstur tanah halus (lanau) dan tekstur tanah sedang (lempung), sudut kemiringan tanah rata-rata datar. Ketinggian permukaan tanah dari permukaan air laut (sudut elevasi) wilayah Kabupaten Demak terletak mulai dari 0m hingga 100m, dan memiliki iklim basah dengan rata-rata curah hujan tahunannya sebesar 1.800–2.400 mm (Jun, 2008). Berdasarkan karakteristik tanah diatas menyebabkan Kota Semarang dan Kabupaten Demak mengalami penurunan tanah sebesar 4-10 cm pertahun (PP, 2019) Dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Peta Laju Penurunan Tanah
Sumber: Badan Informasi Geospasial, 2017

Jalan Tol Semarang–Demak dibangun diatas tanah yang dominan lunak. Berdasarkan hasil pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) pada tanah dasar pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak didapatkan kedalaman tanah keras berada pada kedalaman lebih dari 10 m dibawah permukaan. Dengan kondisi tanah seperti itu, maka proses konsolidasi tanah sangat diperlukan guna mencapai daya dukung tanah yang baik dan mencapai kriteria pada spesifikasi serta meminimumkan penurunan tanah (konsolidasi) yang terjadi. Berbagai teknik perbaikan tanah yang umum digunakan seperti: perbaikan tanah secara mekanis (pemberian gaya mekanis dari luar untuk sementara), perbaikan tanah secara hidrolis (pengurangan tekanan air pada pori), perbaikan secara fisik dan kimiawi (pemberian campuran bahan kimia dan melakukan *grouting*), dan perbaikan dengan inklusi dan pengekangan (geosintetis) (Darwis, 2017).

Berdasarkan masalah diatas, proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2 melakukan perbaikan tanah dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) sehingga penulis tertarik melakukan tinjauan terhadap teknik perbaikan tanah tersebut. Tugas akhir ini diberi judul “Alternatif Teknik Perbaikan Tanah dengan Menggunakan Metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dikemukakan sebelumnya, identifikasi masalah yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Ruas jalan tol terletak pada tanah lunak yang dapat menyebabkan terjadinya penurunan tanah (konsolidasi) yang besar.
2. Tanah keras pada proyek pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak berada pada kedalaman 10 m diatas permukaan tanah yang dapat menyebabkan kecilnya nilai daya dukung pada tanah.

C. Batasan Masalah

Agar tugas akhir ini dapat terarah dengan baik, maka perlu batasan masalah agar sesuai dengan sasaran yang akan dicapai. Masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah perbaikan tanah dengan menggunakan *Metode Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada tanah yang lunak di Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas akhir ini adalah Bagaimana kesesuaian perbaikan tanah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2?

E. Tujuan Penelitian

Untuk mendapatkan kesesuaian perbaikan tanah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi mahasiswa Teknik Sipil Universitas Negeri Padang, untuk menambah wawasan, pengetahuan dan informasi tentang teknik perbaikan tanah khususnya perbaikan tanah dengan menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).
2. Bagi owner, konsultan dan kontraktor ialah untuk informasi tambahan dan bahan masukan maupun kritik mengenai perbaikan tanah menggunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Tanah

Tanah berdasarkan pandangan ilmu Teknik Sipil merupakan himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) terletak diatas batu dasar (*bedrock*) (Hardiyatmo, 2010). Tanah terdiri dari tiga bahan yaitu; agregat (butiran), air, dan udara yang terdapat dalam ruangan (pori) antara butir-butir. Ukuran partikel bervariasi dan memiliki sifat fisik tanah yang kebanyakan bergantung dari berbagai faktor seperti; ukuran, bentuk, dan kandungan kimia dari partikel.

Menurut Bowles (1984), tanah merupakan campuran dari berbagai partikel-partikel yang terdiri dari salah satu atau seluruh jenis berikut:

1. Berangkal (*boulders*) merupakan potongan batuan besar, yang biasanya lebih besar dari 250 sampai 300 mm serta ukuran 150 mm sampai 250 mm, fragmen disebut kerakal (*cobbles/pebbles*).
2. Kerikil (*gravel*) merupakan partikel batuan berukuran 5 mm sampai 150 mm.
3. Pasir (*sand*) merupakan partikel batuan berukuran 0,074 mm sampai 5 mm, berkisar ukuran 3 mm sampai 5 mm sampai bahan halus yang berukuran < 1 mm.
4. Lanau (*silt*) merupakan partikel batuan berukuran dari 0,002 mm sampai 0,0074 mm.

5. Lempung (*clay*) merupakan partikel mineral berukuran lebih kecil dari 0,002 mm.
6. Koloid (*colloids*) merupakan partikel mineral yang diam dan berukuran lebih kecil dari 0,001 mm.

Berdasarkan definisi tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa tanah adalah partikel–partikel kecil dari kerak bumi yang tersusun dari butiran, air dan udara yang terbentuk dari pelapukan batuan dan memiliki sifat fisik yang berbeda-beda berdasarkan ukuran, bentuk dan kandungan kimia yang terdapat didalam setiap partikelnya yang dipengaruhi oleh faktor–faktor alami, iklim, bentuk wilayah dan juga waktu pembentukannya.

1. Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah merupakan suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda tetapi memiliki sifat serupa yang digabungkan kedalam kelompok dan subkelompok berdasarkan kegunaan dan pemakaiannya (Pramardika, 2014). Klasifikasi tanah berfungsi sebagai penjelasan secara singkat dari sifat-sifat umum tanah yang bervariasi tanpa perlu menjelaskan secara rinci yang dibagi berdasarkan tekstur, ukuran dan pemakaian. Jenis klasifikasi tanah sebagai berikut:

a. Klasifikasi Berdasarkan Ukuran

Tanah secara umum dikelompokkan menjadi kerikil (*gravel*), pasir (*sand*), lanau (*silt*), dan lempung (*clay*) berdasarkan

ukuran butiran. Menurut L.D.Wesley (1977) tanah diklasifikasikan berdasarkan butiran seperti pada tabel berikut:

Tabel 1. Klasifikasi tanah berdasarkan ukuran butir

No.	Macam Tanah	Batas-batas Ukuran
1.	Berakal (<i>boulder</i>)	>8 inchi (20 cm)
2.	Kerakal (<i>cobblestone</i>)	3 inchi–8 inchi (8-20 cm)
3.	Batu Kerikil (<i>gravel</i>)	2 mm–8 mm
4.	Pasir Kasar (<i>course sand</i>)	0,6 mm–2 mm
5.	Pasir Sedang (<i>med sand</i>)	0,2 mm–0,6 mm
6.	Pasir Halus (<i>fine sand</i>)	0,06 mm–0,2 mm
7.	Lanau (<i>silt</i>)	0,002 mm–0,06 mm
8.	Lempung (<i>clay</i>)	<0,002 mm

Sumber: Nurhayati,2006

b. Klasifikasi Berdasarkan Tekstur

Tekstur merupakan keadaan dari permukaan tanah yang dipengaruhi oleh ukuran tiap butir partikel yang ada di dalam tanah. Pada umumnya tanah merupakan campuran dari butiran-butiran yang memiliki ukuran yang berbeda-beda. Tekstur tanah dipengaruhi oleh ukuran tiap-tiap butir partikel yang ada dalam tanah. Tanah diberi nama berdasarkan komponen utama yang dikandungnya seperti; lempung berpasir (*sandy clay*), lempung berlanau (*silty clay*) dan sebagainya. Sistem tanah diklasifikasikan berdasarkan distribusi ukuran butiran tanah seperti **Gambar 3**.



Gambar 3. Klasifikasi tanah menurut *United States Department of Agriculture (USDA)*

Sumber: *United States Department of Agriculture (USDA)*

c. Klasifikasi Berdasarkan Pemakaian

Klasifikasi berdasarkan pemakaian terdapat beberapa macam sistem klasifikasi tanah yang umum digunakan sebagai hasil pengembangan dari sistem klasifikasi. Sistem-sistem tersebut memperhitungkan distribusi ukuran butiran dan batas-batas Atterberg, seperti; AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Official*) dan USCS (*Unified Soil Classification System*) sebagai berikut:

1) Sistem klasifikasi AASHTO

Klasifikasi *American Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO) berguna untuk menentukan

kualitas tanah pada pekerjaan jalan yaitu di lapis dasar (*sub-base*) dan pada tanah dasar (*subgrade*) (Nursalam, 2016). AASHTO dibagi menjadi dua kelompok berdasarkan sifatnya, yakni:

- a) Tanah berbutir kasar, 35% atau kurang dari jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No. 200 dan diklasifikasikan kedalam kelompok A-1, A-2, dan A-3.
- b) Tanah berbutir halus, 35% atau lebih butirannya lolos ayakan No. 200 dan termasuk dalam butiran kelompok A-4 sampai A-7.

Sistem klasifikasi ini berdasarkan pada kriteria ukuran butiran dan indeks plastis. Ukuran butiran dibagi menjadi kerikil (lolos ayakan diameter 75mm tertahan pada ayakan No.10), pasir (lolos ayakan No.10 tertahan pada ayakan No. 200), serta lanau dan lempung (Lolos ayakan No.200). Sedangkan untuk Indeks plastis, sebesar 10 atau kurang termasuk kedalam tanah berlanau dan indeksplastis sebesar 11 atau lebih termasuk tanah berlempung (Nursalam, 2016 & Fallis, 2013).

Tabel 2. Klasifikasi tanah berdasarkan AASHTO

Klasifikasi umum	Tanah Berbutir						
	(35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisis ayakan (%lolos) No. 10 No. 40 No. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 50 Maks 10	Maks 35	Maks 35	Maks 35	Maks 35
Sifat Fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas cair (LL) Indeks Plastis (PI)	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 40 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Bak sekali sampai baik						
Klasifikasi umum	Tanah berbutir (lebih dari 35% dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No.200)						
Klasifikasi kelompok	A-4		A-5	A-6		A-7	
Analisis ayakan (%lolos) No.10 No.40 No.200	Min 36		Min 36	Min 36		Min 36	
Sifat fraksi yang lolos ayakan No.40 Batas Cair (LL) Indeks Plastis (PI)	Maks 40 Maks 10		Min 40 Maks 10	Maks 40 Min 11		Min 40 Min 11	
Tipe mineral yang paling dominan	Tanah Berlanau			Tanah Berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Biasa sampai jelek						

Sumber: AASHTO

2) Sistem klasifikasi USCS

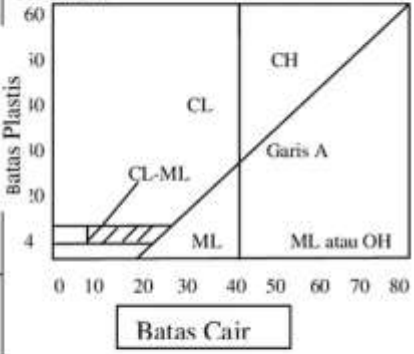
Klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS) ini dikelompokkan menjadi 2 yaitu:

- a) Tanah berbutir kasar, mempunyai presentase lolos saringan NO.200 (0,075 mm) < 50%. Tanah ini terbagi atas krikil dan pasir
- b) Tanah berbutir halus, mempunyai presentase lolos saringan NO. 200 (0,0075 mm) > 50%. Tanah ini terbagi atas lanau dan lempung

Pada klasifikasi USCS tanah berbutir halus dibedakan berdasarkan *plasticity index* dan *liquid limit*:

- a) *Low plasticity* L, bila *liquid limit* < 50%
- b) *Hight plasticity* H, bila *liquid limit* > 50%

Butiran yang terdapat pada klasifikasi USCS adalah; *Silts* (lanau) simbolnya M, *Clays* (lempung) simbolnya C serta *organic silts* dan *organic clays*.

Divisi Utama	Simbol	Nama Umum	Kriteria Klasifikasi
Tanah berbutir kasar $\geq 50\%$ butiran tertahan saringan No. 200	Kerikil $50\% \geq$ fraksi kasar tertahan saringan No. 4	GW	Kerikil bergradasi-baik dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		GP	Kerikil bergradasi-buruk dan campuran kerikil-pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		GM	Kerikil berlanau, campuran kerikil-pasir-lanau
		GC	Kerikil berlempung, campuran kerikil-pasir-lempung
	Pasir $\geq 50\%$ fraksi kasar lolos saringan No. 4	SW	Pasir bergradasi-baik, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
		SP	Pasir bergradasi-buruk, pasir berkerikil, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus
	Pasir dengan butiran halus	SM	Pasir berlanau, campuran pasir-lanau
		SC	Pasir berlempung, campuran pasir-lempung
	Klasifikasi berdasarkan prosentase butiran halus; Kurang dari 5% lolos saringan no.200: GM, GP, SW, SP. Lebih dari 12% lolos saringan no.200 : GM, GC, SM, SC, 5% - 12% lolos saringan No.200 : Batasan klasifikasi yang mempunyai simbol doble		$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk GW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$ $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ Antara 1 dan 3 Tidak memenuhi kedua kriteria untuk SW Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI < 4$ Batas-batas <i>Atterberg</i> di bawah garis A atau $PI > 7$
	Tanah berbutir halus 50% atau lebih lolos ayakan No. 200		Diagram Plastisitas: Untuk mengklasifikasi kadar butiran halus yang terkandung dalam tanah berbutir halus dan kasar. Batas <i>Atterberg</i> yang termasuk dalam daerah yang di arsir berarti batasan klasifikasinya menggunakan dua simbol.  Garis A : $PI = 0.73 (LL - 20)$
	Tanah-tanah dengan kandungan organik sangat tinggi		Manual untuk identifikasi secara visual dapat dilihat di ASTM Designation D-2488

Gambar 4. Klasifikasi Tanah Berdasarkan USCS

Sumber: USCS

2. Sifat Fisik Tanah

Tanah keadaan alami memiliki beberapa sifat-sifat dasar. Sifat-sifat dasar tersebut berupa sifat fisik yang berhubungan dengan tampilan dan ciri-ciri umum dari tanah. Sifat fisik tanah berguna untuk mengetahui jenis tanah tersebut. Sifat fisik tanah terdiri dari:

a. Ukuran Butiran

Ukuran butiran partikel yang dimiliki tanah berbeda-beda tergantung jenis tanah. Ukuran butiran ditentukan dengan melakukan uji saringan dengan saringan yang disusun dengan lubang yang terbesar berada paling atas dan semakin kecil hingga kebawah. Berdasarkan hasil uji saringan dapat diketahui jenis tanah.

b. Kadar Air

Kadar air (w) merupakan perbandingan antara berat air dan berat butiran padat atau isi tanah dari volume tanah yang diselidiki.

Kadar air dihitung:

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

W = Kadar air (%)

W_w = Berat air (gram)

W_s = Berat tanah kering (gram)

Data dan perhitungan Untuk menentukan besarnya kadar air (*water content*) yang terkandung dalam tanah asli juga dapat menggunakan rumus:

$$W = \frac{b-c}{c-a} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

W= kadar air (%)

a= berat cawan kosong (gram)

b= berat cawan + tanah basah (gram)

c= berat cawan + tanah kering oven (gram)

c. Berat Jenis Tanah

Berat Jenis (Gs) merupakan perbandingan antara berat butir tanah dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat butir tanah adalah perbandingan antara berat butir dan isi butir. Sedangkan berat isi air adalah perbandingan antara berat air dan isi air. Berat jenis tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = \frac{W_s}{V_w \times \gamma_w} = \frac{(W_2 - W_1)}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \times k \dots\dots\dots (3)$$

G_s = Berat jenis tanah (gram/cm³)

γ_s = Berat volume butiran (gram/cm³)

γ_w = Berat volume air (gram/cm³)

V_w = Volume air (gram)

W₁ = Berat piknometer (gram)

W₂ = Berat Piknometer + tanah (gram)

$W3$ = Berat Piknometer + tanah +air (gram)

$W4$ = Berat Piknometer + air (gram)

K = Faktor koreksi terhadap suhu

d. Batas Plastis (*Plastic Limit*)

Batas plastis merupakan kadar air, dinyatakan dalam persen, apabila tanah digulung sampai dengan 1/8 in (3,2 mm) timbul retak-retak. Batas plastis adalah batas terendah dari tingkat keplastisan suatu tanah (Pramardika, 2014). Cara pengujiannya sangat sederhana yaitu dengan cara menggulung massa tanah berukuran elipsoida dengan telapak tangan diatas kaca hingga terlihat retak-retak rambut. Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*) adalah perbedaan antara batas cair dan batas plastis suatu tanah (Pramardika, 2014). Indeks Plastisitas (PI) dapat dihitung dengan pendekatan rumus sebagai berikut:

$$PI = LL - PL \dots\dots\dots (4)$$

PI = Indeks Plastisitas (%)

LL = Batas cair (%)

PL = Batas plastis (%)

Tabel 3. Indeks Platisitas dan macam tanah

PI	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
<7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7-17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	kohesif
>17	Plastisitas tinggi	lempung	kohesif

Sumber: Bowles, 1991

3. Sifat Mekanik Tanah

Sifat mekanik tanah merupakan sifat-sifat tanah yang mengalami perubahan setelah diberikan gaya-gaya tambahan atau pembebanan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah (Pramardika, 2014).

a. Pemadatan Tanah

Pemadatan merupakan usaha untuk mempertinggi kerapatan tanah dengan pemakaian energi mekanis untuk menghasilkan pemampatan partikel atau suatu proses ketika udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis. Dilapangan biasanya digunakan mesin gilas, alat-alat pemadat dengan getaran dan alat tekan static yang menggunakan piston dan mesin tekanan. Untuk pengujian pemadatan tanah dapat dilakukan dengan cara uji *sandcone*.

b. Cone Penetration Test (CPT)

Cone Penetration Test (SPT) atau biasa disebut sondir merupakan investigasi minimum dalam kondisi geoteknik dalam area proyek (Pramardika, 2014). Sondir juga diatur dalam SNI 2827:2008 mengenai cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir. Tes sondir berguna untuk memperoleh parameter; perlawanan konus (q_c), perlawanan geser (f_s), angka banding geser (r_f) dan geseran total tanah (t_f) yang dapat digunakan untuk interpretasi tanah. R_f dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Tf = \frac{\text{Komulatif } Fs \times 20}{\text{Kedalaman}} \dots\dots\dots(5)$$

F_s = Perlawanan geser lokal (kg/cm²)

c. *Standart Penetration Test (SPT)*

Standart Penetration Test (SPT) merupakan metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukkan. Untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah dilapangan dapat diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus, yang dapat dipergunakan untuk mengidentifikasi perlapisan tanah.

Dari setiap pekerjaan pemadatan yang dilakukan dihitung beberapa parameter seperti; kadar air, berat volume tanah basah (γ_b), berat volume kering tanah (γ_d). Berdasarkan data yang diperoleh maka dapat digambarkan grafik hubungan antara berat volume kering dengan kadar air. Dari grafik ini dapat ditentukan juga kadar air optimum (W_{opt}) dan berat volume kering maksimum (Pramardika, 2014). Secara teoritis berat volume kering maksimum pada suatu kadar air tertentu dengan pori-pori tanah tidak mengandung udara sama sekali (*zero air void/ZAV*) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\gamma_{ZAV} = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1+e} \dots\dots\dots (6)$$

γ_{ZAV} = Berat volume pada kondisi ZAV

γ_w = Berat volume air (gram/cm³)

e = Angka pori

G_s = Berat jenis tanah (gram/cm³)

Untuk keadaan tanah jenuh 100% artinya e = w . G_s, sehingga:

$$\gamma_{ZAV} = \frac{\gamma_w}{w + \frac{1}{G_s}} \dots\dots\dots (7)$$

Dalam keadaan bagaimanapun kurva pemadatan tidak mungkin memotong *zero air void* (ZAV) (Pramardika, 2014).

d. Percobaan CBR (*California Bearing Ratio*)

Percobaan ini diperkenalkan pertama kali oleh O. J Porter, *California State Highway Department*. Metode ini mengkombinasikan load penetration test di laboratorium maupun di lapangan dengan *design chart* empiris untuk mendapatkan kekuatan tanah sekaligus mendapatkan tebal perkerasan jalan (Pramardika, 2014). Tahanan penetrasi diukur dengan jarum berdiameter 5 cm (3) yang ditekankan ke dalam massa tanah dengan kecepatan 1,25 mm/menit. Observasi dilakukan dengan pembacaan beban dan penetrasi jarum ke dalam massa tanah. Beban standar sesuai dengan penetrasi standar ditentukan dengan memakai *crushed stone* (Redana, 2011) Nilai CBR didapat melalui persamaan:

$$CBR = \frac{\text{Beban tes}}{\text{Beban standar}} \times 100\% \dots\dots\dots (8)$$

Untuk menghitung kekokohan tanah CBR:

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,1'' [\text{lbs}]}{1000 [\text{lbs}]} \times 100\% \dots\dots\dots (9)$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{\text{Gaya pada penetrasi } 0,2'' [\text{lbs}]}{1500 [\text{lbs}]} \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

e. Konsolidasi Tanah

Konsolidasi merupakan suatu proses pengecilan volume secara perlahan-lahan pada tanah jenuh sempurna dengan permeabilitas rendah akibat pengaliran sebagian air pori (Pramardika, 2014). Proses tersebut berlangsung terus sampai kelebihan tekanan air pori yang disebabkan oleh kenaikan tegangan total telah benar-benar hilang.

Penurunan konsolidasi merupakan perpindahan vertikal permukaan tanah sehubungan dengan perubahan volume pada tingkat dalam proses konsolidasi (Pramardika, 2014). Dalam pengujian konsolidasi didapatkan beberapa parameter hitung seperti; Koefisien konsolidasi (cv), waktu konsolidasi (t), dan tekanan prakonsolida (pc'). Konsolidasi tanah dapat diukur dengan menggunakan *settlement plate* (untuk mengukur waktu terjadinya penurunan tanah dalam waktu tertentu yang sebelum dan sesudah diamati), piezometer (untuk mengukur tekanan air pori tanah dan juga dapat digunakan sebagai antisipasi atau backup data jika data yang diterima dari *settlement plate* tidak akurat), inclinometer (untuk mengukur gaya geser tanah, sehingga

dapat diketahui besarnya pergeseran tanah yang terjadi apakah membahayakan atau tidak).

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak dibawah muka air tanah. Penurunan ini butuh waktu yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanah. Bila tanah mengalami pembebanan dan berkonsolidasi maka penurunan tanah tersebut berlangsung 3 fase yaitu (Herman, 2002) ;

- Fase awal Penurunan terjadi segera setelah beban bekerja, diakibatkan oleh keluarnya udara dari rongga pori.
- Fase konsolidasi primer Penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air pori yang meninggalkan rongga pori tanah akibat beban. Sangat dipengaruhi sifat tanah.
- Fase konsolidasi sekunder Merupakan proses lanjutan dari konsolidasi primer, proses ini berjalan sangat lambat.

Konsolidasi dapat dihitung dengan rumus:

$$S = S_i + S_c + S_s \dots\dots\dots (11)$$

S = penurunan total

S_i = penurunan segera

S_c = penurunan konsolidasi primer

S_s = penurunan konsolidasi sekunder

4. Parameter Tanah

Parameter tanah adalah nilai yang menjadi acuan atau ukuran guna mengetahui atau menilai hasil proses perubahan yang terjadi di dalam tanah baik dari sifat fisik, maupun sifat mekanis pada tanah. Jenis parameter sifat fisik tanah antara lain; berat jenis, porositas, ukuran butiran tanah, berat isi, derajat kejenuhan, kepadatan tanah, kadar air, nilai *atterberg*, dan permeabilitas. Sedangkan sifat mekanis tanah seperti; kohesi, nilai sudut geser tanah, dan daya dukung tanah (Wibowo, 2017). Penyelidikan tanah (*soil investigation*) penting dilakukan dengan tujuan diantaranya:

1. Untuk memprediksi besarnya penurunan tanah yang terjadi.
2. Untuk menentukan sifat dan jenis tanah yang berguna untuk perancangan struktur yang akan dibangun diatasnya.
3. Untuk menentukan kedalaman dan tipe pondasi yang akan dibangun diatasnya.
4. Untuk menentukan kapasitas daya dukung tanah.
5. Untuk memprediksi muka air tanah.

Parameter tanah antara lain:

a. *Modulus Young*

Nilai Modulus Young atau modulus elastisitas merupakan perbandingan antara nilai tegangan terjadi terhadap regangan. Perkiraan nilai E_s untuk tiap jenis tanah terdapat pada Tabel 2. Nilai E_s untuk beberapa jenis tanah dapat diperoleh dari data sondir dan SPT

Tabel 4. Nilai Es berdasarkan jenis tanah

Jenis Tanah	Es	
	ksf	Mpa
Lempung sangat lunak	50-250	2-15
Lempung lunak	100-500	5-25
Lempung kaku	300-1000	15-40
Lempung keras	1000-20000	50-100
Lembung berasir kekakuan	500-5000	25-250
Pasir lepas	200-3200	10-153
Pasir padat	3000-15000	144-720
Pasir sangat padat	10000-30000	478-720
Pasir sangat lepas	300-1200	15-60
Pasir berlanau	150-450	5-20
Pasir lepas	200-500	10-25
Pasir padat	1000-1700	50-81
Pasir dan kerikil lepas	1000-3000	50-120
Pasir dan kerikil padat	2000-4000	100-200
serpih	3000-300000	150-5000
lanau	40-400	2-20

Sumber: Bowles,1991

b. Poisson Ratio

Nilai *poisson ratio* ditentukan sebagai kompresi poros terhadap regangan permukaan lateral. Nilai *poisson ratio* dapat ditentukan berdasarkan jenis tanah seperti yang terlihat pada tabel dibawah ini

Tabel 5. Nilai poisson ratio berdasarkan jenis tanah

Jenis Tanah	Poisson Ratio
Lempung jenuh	0,4-0,5
Lempung tak jenuh	0,1-0,3
Lempung berpasir	0,2-0,3
Lanau	0,3-0,35
Pasir	0,1-1,0
Batuan	0,1-0,4
Umum dipakai untuk tanah	0,3-0,4

Sumber: bowles,1991

c. Sudut Geser Dalam

Sudut geser dalam adalah salah satu komponen yang mendukung kuat geser akibat gesekan antar partikel. Nilai ini didapatkan dari pengukuran *engineering properties* tanah dengan *Direct Shear Test*. Hubungan antara sudut geser dalam dan jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai sudut geser dalam berdasarkan jenis tanah

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam
Kerikil berpasir	35°-40°
Kerikil kerakal	35°-40°
Pasir padat	35°-40°
Pasir lepas	30°
Lempung kalanaun	25°-30°
lempung	20°-25°

Sumber: Das, 1995

d. Kohesi

Kohesi merupakan ukuran dari daya tarik antara partikel-partikel tanah kohesif yang disimbolkan dengan c . Kohesi bersama dengan sudut geser dalam merupakan parameter dari kekuatan geser pada tegangan efektif. Dengan demikian keruntuhan akan terjadi pada titik yang mengalami kritis yang disebabkan oleh kombinasi antara tegangan geser dan tegangan normal efektif (Pramardika, 2014)

5. Daya Dukung Tanah

Dalam suatu konstruksi bangunan ataupun tanah sangat diperlukan suatu daya dukung tanah yang mencukupi. Daya dukung tanah merupakan kemampuan tanah untuk menahan beban di atasnya

tanpa mengalami keruntuhan akibat geser (Das, 1995). Daya dukung tanah dapat diukur dengan menggunakan metode CBR (*California Bearing Ratio*) dan CPT (*Cone Penetration Test*).

6. Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah (*ground improvement*) Perbaikan tanah adalah suatu cara untuk memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, seperti kuat geser, kekakuan, dan permeabilitasnya. Perbaikan tanah dilakukan pada tanah yang sifat mekaniknya tidak memenuhi syarat untuk menahan beban yang ada di atasnya. Perbaikan tanah dapat dilakukan dengan berbagai cara yang memiliki fungsi antara lain:

1. menaikkan kapasitas dukung tanah
2. mereduksi penurunan bangunan Setelah pembangunan selesai
3. mereduksi risiko terjadinya likuefaksi
4. menghindari pondasi terlalu dalam
5. menghindari penggantian tanah
6. memperpendek waktu pelaksanaan
7. menghindari pemindahan lokasi proyek
8. menghemat biaya

a. Metode Perbaikan Tanah

perbaikan sifat-sifat tanah dapat dilakukan dengan cara; mekanis, modifikasi hidrolik, mengubah sifat secara fisik dan kimia, memodifikasi tanah dengan penyisipan dan pengekangan (Hardiyatmo, 2020).

1) Perbaikan Secara Mekanis

Perbaikan secara mekanis ialah perbaikan yang dilakukan dengan cara mengaplikasikan gaya-gaya mekanik, seperti memadatkan tanah dan di permukaan dengan mesin pemadat atau memadatkan tanah pada kedalaman tanah yang dalam (Hardiyatmo, 2020). cara pemadatan yang dilakukan sebagai berikut:

- a) Pemadatan dinamik (*dynamic compaction*)
- b) Pemadatan getar (*vibro compaction*)
- c) Injeksi pemadatan (*compaction grouting*)
- d) Prapembebanan (*Preloading*) dan drainase vertikal
- e) Pemadatan dengan ledakan (*blast densification*)

2) Perbaikan secara Modifikasi Hidrolik

Perbaikan secara modifikasi hidrolik dilakukan dengan memaksa air pori keluar lewat perlengkapan drainase atau sumur (Hardiyatmo, 2020). Berkurangnya air di dalam rongga pori-pori membuat tanah lebih padat sehingga tanah dapat lebih kuat. Metode modifikasi hidrolik antara lain (Hardiyatmo, 2020) :

- a) Prapembebanan (*preloading*) dengan menggunakan timbunan
- b) Prapembebanan dengan menggunakan timbunan dan drainase vertikal (*vertical drain*)

c) Prapembebanan vakum (*vakuum preloading*) dengan drainase vertikal

d) Kombinasi timbunan dan pembebanan vakum

3) Perbaikan secara Fisik dan Kimia

Perbaikan secara fisik dan kimia ialah tanah pada permukaan atau kolom-kolom tanah dicampur dengan bahan perekat tertentu (Hardiyatmo, 2020). Bahan perekat diinjeksikan dengan tekanan tinggi ke dalam lubang bor disebut *grouting injeksi*. Tanah yang menjadi rekat dan padat akan bertambah kapasitas daya dukungnya. metode perbaikan fisik dan kimia antara lain:

a) Injeksi (*grouting*)

b) Pencampuran tanah-semen atau kapur

c) Pemanasan (*heating*)

d) Vitrifikasi (*vitrification*)

4) Modifikasi dengan Penyisipan dan Pengekangan

Modifikasi dengan penyisipan dan pengekangan ialah perbaikan tanah yang dilakukan dengan menggunakan tulangan-tulangan fiber, lajur-lajur baja, lembaran geosintetik, dan lainnya (Hardiyatmo, 2020). Dinding penahan tanah yang stabil dapat dibuat dengan cara menekan tanah dengan semen, baja atau fiber-fiber geosintetik, dengan penambahan fiber akan menambahkan kekuatan pada tanah (Hardiyatmo, 2020).

b. Tanah yang Memerlukan Perbaikan

Tanah yang memerlukan perbaikan perlu pertimbangan yang matang untuk memutuskan tipe-tipe perbaikan tanah yang cocok untuk suatu area proyek. Tanah yang memerlukan perbaikan ini perlu dilakukan evaluasi awal seperti karakteristik kondisi tanah dan kedalaman muka air tanahnya (Hardiyatmo, 2020). Untuk proyek baru dibutuhkan penyelidikan tanah secara rinci guna memperoleh informasi yang diperlukan untuk memutuskan perlu atau tidaknya dilakukan perbaikan tanah di lokasi tersebut.

Penyelidikan tanah biasanya dilakukan secara bertahap. Tahap awal dilakukan untuk memberikan data tanah secara kasar kemudian dilakukan tahap selanjutnya yang lebih detail untuk mendapatkan karakteristik tanah secara rinci. Macam-macam kondisi tanah yang perlu dilakukan perbaikan, antara lain seperti berikut (Hardiyatmo, 2020):

- 1) Tanah-tanah sulit seperti; lempung lunak, ekspansif, tanah yang mudah runtuh, atau tanah yang mengandung bahan organik
- 2) Tanah berpotensi terjadi *likuefaksi*
- 3) Tanah yang berupa lereng berpotensi terganggu stabilitasnya
- 4) Tanah berkapasitas daya dukung yang rendah atau tingkat kemudahan mampatnya tinggi
- 5) Tanah berpotensi terjadi erosi, *piping*, dan tekanan air ke atas yang tinggi.

Dalam suatu proyek yang dibangun pada tanah yang bermasalah terdapat beberapa alternatif penyelesaiannya sebagai berikut (hardiyatmo,2020):

- 1) Pembongkaran atau penggantian
- 2) Prapembebanan (*preloading*)
- 3) Drainase vertikal (*vertical drain*)
- 4) Pemadatan di tempat (*in-situ densification*)
- 5) Injeksi (*grouting*)
- 6) Stabilisasi dengan bahan pencampur
- 7) Penulangan atau perkuatan (*reinforcement*)

c. Tipe Perbaikan Tanah

Menentukan tipe perbaikan tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dijadikan sebagai pertimbangan untuk memilih tipe perbaikan yang akan digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhinya antara lain (Hardiyatmo, 2020):

- 1) Jenis tanah : merupakan faktor terpenting yang mempengaruhi karena akan mengontrol metode yang akan dipilih.
- 2) Area : kedalaman dan lokasi penanganan yang dibutuhkan.
- 3) Sifat tanah yang diinginkan : dengan metode yang berbeda dapat menyebabkan sifat fisik tanah setelah dilakukan perbaikan berbeda.

- 4) Material tersedia : tergantung kepada lokasi proyek dan material yang ada untuk setiap metode pekerjaan yang dilakukan.
- 5) Tenaga ahli berpengalaman yang tersedia : tenaga ahli yang mempunyai pengetahuan dan pengalaman akan memilih metode perbaikan tanah yang disukainya.
- 6) Kondisi lingkungan : metode perbaikan tanah harus mempertimbangkan dampaknya terhadap lingkungan disekitar.
- 7) Ekonomi : metode perbaikan tanah yang dipilih harus mempertimbangkan dari segi ekonomisnya metode tersebut.

Faktor terpenting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan metode perbaikan tanah adalah ketersediaan akses jalan menuju dan di lokasi proyek terutama bila lokasi proyek merupakan daerah yang sedang berkembang atau yang telah banyak bangunann yang berdiri (hardiyatmo, 2020). Proyek yang dilaksanakan pada area yang luas, terbuka dan tidak dekat dengan permukiman dapat menggunakan biaya perbaikan tanah yang relatif lebih murah. Pengelompokkan metode perbaikan tanah ditinjau dari cara penanganan tanahnya yang dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu;

- 1) Perbaikan tanah (*ground improvement*)
- 2) Perawatan tanah (*ground treatment*)
- 3) Penulangan atau perkuatan tanah (*ground reinforcement*)

Tabel 7. Pengelompokan metode perbaikan tanah

Pemadatan tanah (<i>Ground compaction</i>)	Perawatan tanah (<i>Ground treatment</i>)	Penulangan tanah (<i>Ground reinforcement</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Pemadatan dinamik dalam (<i>Deep dynamic compaction</i>) • Injeksi pemadatan (<i>Compaction grouting</i>) • Peledakan (<i>Blasting</i>) • Pemadatan permukaan (<i>Surface compaction</i>) • Drainase pembebanan (<i>Drainage/surcharge</i>) • Elektro-osmosa (<i>Electro-osmosis</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Tanah-semen (<i>Soil cement</i>) • Campuran kapur (<i>Lime admixtures</i>) • Abu terbang (<i>Fly-ash</i>) • Pengeringan (<i>Dewatering</i>) • Pemanasan/pembekuan (<i>Heating/freezing</i>) • Vitrifikasi (<i>Vitrification</i>) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kolom-kolom batu (<i>Stone columns</i>) • Pemakuan tanah (<i>Soil nails</i>) • Pemakuan tanah dalam (<i>Deep soil nailing</i>) • Tiang mikro/tiang mini (<i>Micropiles/mini-piles</i>) • Jet grouting (<i>Injeksi jet</i>) • Angkur tanah (<i>Ground anchors</i>) • Geosintetik (<i>Geosynthetics</i>) • Penulangan fiber (<i>Fiber reinforcement</i>) • Kolom kapur (<i>Lime columns</i>) • Kolom beton getar (<i>Vibro-concrete column</i>) • Stabilisasi tanah secara mekanik (<i>Mechanically stabilized earth</i>)

Sumber: U.S. Army,1999

Tabel 8. Tipe Perbaikan tanah dan tujuannya

Metode Perbaikan	Tipe Tanah		Maksud dan tujuan				
	Granural	Kohesif	Meningkatkan kapasitas dukung	Mengontrol penurunan	Stabilitas arah ;ateral	Mengontrol lingkungan	Ketahanan terhadap likuefaksi
<i>Dynamic compaction</i>	X	-	X	X	-	X	X
<i>Compaction grouting</i>	X	-	-	X	-	-	X
<i>Vibrocompaction</i>	X	-	X	X	-	-	X
<i>Blasting</i>	X	-	X	X	-	-	X
<i>Stone columns</i>	-	X	X	X	X	-	X
<i>Soil nailing</i>	X	-	-	-	X	-	-
<i>Electro-osmosis</i>	-	X	X	X	-	-	-
<i>Preloading/vertical drains</i>	-	X	X	X	-	-	-

<i>Vacuum consolidation</i>	-	X	X	X	-	-	-
<i>Mechanical stabilization</i>	X	-	X	X	X	-	-
<i>Lightweight fill</i>	X	X	-	-	X	-	-
<i>Soil anchoring</i>	X	-	-	-	X	-	-
<i>Micropiles</i>	X	-	X	X	X	-	-
<i>Fiber reinforcement</i>	X	-	X	X	X	-	-
<i>Permeation grouting</i>	X	-	X	X	-	X	-
<i>Jet grouting</i>	X	X	X	X	X	X	X
<i>Deep soil mixing</i>	X	-	X	X	X	X	X
<i>Lime columns</i>	-	X	X	X	X	X	X
<i>Fracture grouting</i>	-	X	X	X	-	X	-
<i>Ground freezing</i>	X	X	-	-	X	X	-
<i>vitrification</i>	X	X	-	-	-	X	-
<i>electroheating</i>	-	X	-	X	-	X	-
<i>Biotechnical stabilization</i>	X	-	-	-	X	X	-

Sumber: U.S Army,1999

Tabel 9. Metode perbaikan tanah yang disesuaikan dengan tujuannya

Tujuan perbaikan tanah	Metode	
a. Menambah tahanan likuefaksi	Pemadatan getar (<i>Vibrocompaction</i>)	Pencampuran tanah dalam (<i>deep soil mixing</i>)
b. mengurangi gerakan tanah	Kolom batuan (<i>stone coloumn</i>)	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>)
	Pemadatan dinamik dalam (<i>deep dynamic compaction</i>)	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>)
	Pemadatan ledakan (<i>explosive compaction</i>)	Injeksi pematat (<i>compaction grouting</i>)
	Drainase krikil (<i>gravel drains</i>)	Tiang pematat pasir kerikil (<i>sand and gravel compaction piles</i>)
Menstabilkan bangunan yang sudah mengalami penurunan	Injeksi pematat (<i>compaction grouting</i>)	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>)
	Injeksi penetrasi (<i>jet grouting</i>)	Tiang mini (<i>mini piles</i>)
Menambah tahanan terhadap retak, deformasi dan/atau penurunan tak seragam	Injeksi pematat (<i>compaction grouting</i>)	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>)
	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>)	Tiang mini (<i>mini piles</i>)
Mengurangi penurunan segera (<i>immediate settlement</i>)	Pemadatan getar (<i>vibrocompaction</i>)	Pencampuran tanah dalam (<i>deep soil mixing</i>)
	Pemadatan dinamik dalam (<i>deep dynamic compaction</i>)	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>)
		Tiang pematat pasir dan kerikil

	Injeksi pemadatan (<i>compaction grouting</i>) Pemadatan ledakan (<i>explosive compaction</i>)	(<i>sand and gravel compaction piles</i>)
Mereduksi penurunan konsolidasi	Prakompresi (<i>precompression</i>) Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>) Injeksi pemadat (<i>compaction grouting</i>)	Kolom batuan (<i>stone coloumn</i>) Pencampuran tanah dalam (<i>deep soil mixing</i>) Osmosa-elektrikn(<i>electro-osmosis</i>)
Menambah kecepatan konsolidasi	Drainase vertikal dengan atau tanpa beban ekstra (sucharge) tiang pemadat pasir dan kerikil (<i>Sand and gravel compaction piles</i>)	
Memperbaiki stabilitas lereng	Urubgan penopang (<i>butress fills</i>) Drainase kerikil (<i>gravel drain</i>) Injeksi pemadat (<i>compaction grouting</i>)	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>) Pencampuran tanah dalam (<i>deep soil mixing</i>) Tiang pemadat pasir,kerikil (<i>sand and gravel compaction piles</i>)
Memperbaiki penghalang rembesan	Injeksi pancaran (<i>jet grouting</i>) Pencampuran tanah dalam (<i>deep soil mixing</i>)	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>) Parit laurtan (<i>slurry strenches</i>)
Perkuatan dan/atau penutup anarmuka (<i>interface</i>) antara timbunan-pangkal jembatan-fondasi	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>) Injeksi pemadatan (<i>compaction grouting</i>)	
Menutup bocoran pipa saluran dan/atau mereduksi piping pipa saluran	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>) Injeksi pemadatan (<i>compaction grouting</i>)	
Mereduksi bocoran lewat sambungan atau retakan	Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>)	
Menambah tahanan erosi	Beton tumbuh dipadatkan (<i>reller compacted concrete</i>) Stabilisasi dengan pencampuran	Stabilisasi bioteknik
Stabilisasi lempeng dispresif	Ditambah kapur atau semen selama pelaksanaan Filter protektif Untuk <i>existing</i> dams, tambahkan kapur pada permukaan hulu	
Stabilisasi lempung ekspansif	Pencampuran dengan kapur Pencampuran dengan semen	Pemindahan tanah Menjaga kadar air
Stabilisasi tanah mudah runtuh	<i>Prewetting/hydro blasting</i> Pemadatan dinamika dalam (<i>deep dynamic compaction</i>)	Pemadatan getar (<i>vibrocompaction</i>) injeksi

Sumber: FHWA,1995

Tabel 10. Metode perbaikan tanah untuk remediasi area terbatas dan / atau sedang berkembang

Metode	Jenis Tanah	Kedalaman efektif	Susunan dan jarak titik perbaikan as-as	Perbaikan yang dapat dicapai
Injeksi penetrasi (<i>penetration grouting</i>)	Pasir dan material	Tak terbatas	Pola segitiga sisi, jarak 1-5 m	Rongga terisi dan mengeras
Injeksi pemadatan (<i>compaction</i>)	Sembarang tanah yang	Tak terbatas	Pola bujursangkar atau segitiga, jarak	Sampai $D_t=80\%$ (N1) $60=25$ $q_c= 10-15$

<i>grouting</i>)	terkonsolidasi dengan cepat termasuk pasir longgar		as-as kolom 1-4,5 m, tipikal 1,5-2m	Mpa, bergantung jenis tanah
Injeksi jet (<i>jet grouting</i>)	Semabrangan tanah; lebih sulit pada lempung plastisitas tinggi	Tak terbatas	Bergantung pada penggunaan	Pengerasan tanah bergantung pada ukuran kekuatan dari elemen pancaran
Pemadatan ledakan (<i>explosive compaction</i>)	Pasir, pasir berlanau	Tak terbatas	Pola bujursangkar atau segitiga, jarak as-as kolom 3-8m pada daerah berkembang 8-15m, pada daerah terbatas	Sampai $D_t=75\%$ $(N_1)_{60}=201-25$ $q_c=10-12$ Mpa, bergantung jenis tanah
Tiang mini	Sembarang tanah bisa dibor	Beberapa meter dibawah bangunan existing	Bergantung pada penggunaan	Mentransfer beban melewati tanah lunak
Pemakuan tanah (<i>soil nailing</i>)	Sembarangan tanah bisa dibor, kecuali lempung sangat lunak	Tak terbatas	1 paku diinjeksi per 1-5m ² , 1 paku pancang per 0,25 m ²	Menstabilkan lereng galian dan lubang galian
Penggantian tanah	Semua jenis tanah	Beberapa meter	Urungan berkepadatan tinggi sampai material tersementasi	Dapat dirancang sampai ke perbaikan yang diinginkan
Beton untuk tumbuk dipadatkan (<i>roller compacted concrete</i>)	Pasir dan kerikil, sampai 15% butiran halus	-	-	Material tersementasi

Sumber: FHWA, 1995

B. Drainase Vertikal

Drainase vertikal digunakan untuk percepatan penurunan konsolidasi terutama untuk timbunan jalan. Pada tahun 1930 Kjellman mengusulkan drainase vertikal pracetak yang berbentuk pita pipih memanjang yang disebut PVD (*prefabricated vertical drain*) (Hardiyatmo, 2020). Sebelum dikenalnya PVD terlebih dahulu drainase vertikal berbentuk kolom-kolom pasir yang disebut drainase pasir (*Sand drain*).

Bahan utama PVD (*prefabricated vertical drain*) adalah geosintetik. Keuntungan menggunakan PVD dibandingkan dengan

drainase pasir ialah dapat memperkecil gangguan tanah yang mengurangi kinerja drainase karena sifatnya yang lebih fleksibel dan mempunyai kemampuan menyerap yang baik (Hardiyatmo, 2020). Ukuran PVD ± 100 -300 mm dengan tebal tipikal hanya sekitar 3-6 mm (Hardiyatmo, 2020). Dikarenakan dimensinya yang sangat kecil, dalam proses pemasangannya PVD membutuhkan *mandrel* untuk melindungi PVD dari kemungkinan putus atau sobek ketika dipenetrasikan kedalam tanah.

1. Cara Kerja Drainase Vertikal

Perbaikan tanah dengan menggunakan drainase vertikal cocok digunakan untuk tanah yang mudah mapat, dan jenuh air. Pada kondisi pengaliran air dari drainase vertikal yang dibangun pada lapisan tanah lunak akan menuju ke arah lapisan lolos air diatas dan dibawahnya. Lapisan lolos air diatas disebut lapisan selimut pasir (*sand blanket*).

Pada umumnya, perbaikan tanah dengan drainase vertikal diaplikasikan pada kondisi-kondisi seperti (Hardiyatmo, 2020):

- a. Lapisan tanah yang berkompresibilitas sedang sampai tinggi yang mendukung beban relatif besar. Tanah seperti ini umumnya berupa tanah berbutir halus kohesif (lempung atau lanau)
- b. Lapisan tanah yang sangat lambat sifat drainase alaminya, akibat rendahnya permeabilitas tanah dan tebal lapisan lempung yang tebal, sehingga jarak drainase alami atau lintasan airnya panjang.

Drainase vertikal tidak cocok digunakan pada daerah yang lolos air atau tanah *granular* (pasir dan kerikil), tanah yang mengalami

konsolidasi sekunder yang tinggi seperti lempung yang berplastis tinggi dan gambut (Hardiyatmo, 2020).

2. Tipe-Tipe Drainase Vertikal

Drainase vertikal memiliki 2 tipe yakni; drainase pasir (*sand drain*) dan drainase vertikal pracetak (*prefabricated vertical drain*), sebagai berikut:

a. Drainase Pasir Vertikal

Drainase pasir (*Sand drain*) vertikal merupakan kolom pasir vertikal yang dibuat untuk menembut tanah lempung. Kolom-kolom pasir ini dibuat dengan cara melubangi tanah dengan alat bor yang menembus lapisan tanah lempung, kemudian dimasukan pasir dengan gradasi tertentu agar pengaliran air secara vertikal lancar. Umumnya diameter drainase pasir vertikal sekitar 45-60cm, jika terlalu kecil pengisian pasir terhambat (Hardiyatmo, 2020).

b. Drainase Vertikal Pracetak

PVD (*prefabricated vertical drain*) merupakan pita yang berbentuk empat persegi panjang dengan lebar sekitar 10 mm dan tebal 4mm yang dibuat dari geosintesik yang menyelubungi inti plastik. Bagian luar umumnya terbuat dari geotekstil nir-anyam (*non-woven*) yang terbuat dari *polyester* atau *polypropylene* (Hardiyatmo,2020).



Gambar 5. Pemasangan PVD

Sumber: Dokumen PT.PP

C. *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Prefabricated Vertical Drain (PVD) merupakan lembaran plastik untuk drainase vertikal yang panjang dan berkantung yang merupakan kombinasi antara bahan inti (*core*) *polypropylene* berkekuatan mekanik tinggi dan lapisan pembungkus dari bahan geotekstil. PVD berguna untuk mempercepat penurunan dengan mengurangi kadar air maupun kadar udara pada butiran tanah sehingga dapat mempercepat penurunan tanah (konsolidasi). Syarat umum material PVD antara lain (Hardiyatmo,2020):

1. Dapat dipasang secara vertikal dalam lapisan tanah permukaan yang mudah mampat, PVD harus mempunyai kuat tarik tertentu.
2. Selubung luarnya harus bisa mengalirkan air pori ke dalam drainase vertikal, PVD harus memenuhi syarat sebagai filter.
3. Dapat mengumpulkan pori dan mengalirkannya ke atas dan kebawah sepanjang drainase vertikal, PVD harus mengalirkan air dengan lancar, walau tertekuk.



Gambar 6. Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Sumber: Dokumen Pribadi

Tabel 11. Tipe drainase vertikal dan cara pemasangan

Tipe drainase	Cara pemasangan	Diameter drainase (m)	Jarak tipikal (m)	Panjang maksimum (m)
Drainase pasir	Dipancang atau digetarkan <i>mandrel</i> ujung tertutup (tipe perpindahan)	0,15-0,6	1-5	≤ 30
Drainase pasir	Batang berlubang <i>flight auger</i> kontinu (perpindahan kecil)	0,3-0,5	2-5	≤ 35
Drainase pasir	Disemprotkan (<i>jetted</i>) (tanpa perpindahan)	0,2-0,3	2-5	≤ 30
<i>Prefabricated sand drain (sand wicks)</i>	Dipancang atau digetarkan <i>mandrel</i> ujung tertutup; <i>flight auger</i> , bor cuci putar (perpindahan besar atau kecil)	0,06-0,15	1,2-4	≤ 30
<i>Prefabricated band shape drain (PVD)</i>	Dipenetraskan atau digetarkan dengan <i>mandrel</i> tertutup (perpindahan besar atau kecil)	0,05-0,1* (*diameter ekuivalen)	1,2-3,5	≤ 60

Sumber: jamiolkowski, 1983

Persyaratan penggunaan material PVD antara lain:

1. Bahan

Pada umumnya PVD (*prefabricated vertical drain*) terdiri dari bagian inti terbuka dibagian tengah yang berbentuk pita memanjang yang diselubungi oleh saringan pembungkus dari geotekstil (Hardiyatmo, 2020). FHWA,1986 mensyaratkan inti PVD harus mampu mengalirkan air melalui saringan pembungkus pada tekanan sebesar 350 kN/m². Saluran pembungkus harus dari bahan non-woven polyester atau bahan yang sejenis dengan bukaan pori efektif < 75µm dan permeabilitas filternya minimum 15×10^{-4} m/det.

Tabel 12. Syarat bahan PVD (*prefabricated vertical drain*)

Sifat-sifat	Persyaratan	Metode pengujian
Massa nominal	70 gr/m	ASTM D-5261
Lebar	10 cm	-
Tebal	4-5,0 mm	ASTM D-5199
Kuat tarik batas material	2,1 kN	ASTM D-4595
Elongasi (<i>elongation</i>) Saat sobek	25%	ASTM D-4595
Kuat tarik batas Pada perpanjangan 10%	1,3 kN	ASTM D-4595
Kapasitas pangaliran air pada tekanan 350 kN/m ²		
i. index test	60×10^{-6} m ³ /det	ASTM D-4716
ii. lurus (<i>straight</i>)	90×10^{-6} m ³ /det	ASTM D-4716
iii. tertekuk (<i>buckled</i>)	80×10^{-6} m ³ /det	ASTM D-4716
Ukuran bukaan nampak AOS (O_{95})	<75 µm	ASTM D-4751
permeabilitas	15×10^{-4} m/det	ASTM D-4491
permitivitas	$1,7 \text{ det}^{-1}$	ASTM D-4491

Sumber: FHWA, 1986

2. Kuat Tarik

Pada saat proses pemasangan PVD akan tertarik dan akan mengalami elongasi atau memanjang. Gaya tarikan yang besar akan terjadi pada pita PVD terutama pada saat pemasangan dengan menggunakan getaran, getaran yang besar mengakibatkan PVD menjadi tertarik dan mulur secara berlebihan. Untuk itu PVD harus memiliki kuat tarik dan elongasi yang cukup untuk menahan gaya yang menyebabkan kerusakan selama masa pelaksanaannya. Untuk menghindari gaya tarik yang terlalu tinggi pada filter PVD diameter roda penuntun gulungan (*guide roll*) harus $>150\text{mm}$. Umumnya PVD disyaratkan memiliki sifat mekanikal berikut:

- a. Elongasi PVD $\geq 2\%$
- b. Elongasi PVD pada $0,5 \text{ kN} \leq 10\%$
- c. Kuat tarik PVD $\geq 1,5 \text{ kN}$

3. Filter

Mencegah kerusakan pada filter PVD selama pemasangan, maka (Hardiyatmo, 2020):

- a. Kuat tarik filter, untuk panjang $< 25\text{m}$, harus $> 3 \text{ kN/m}$
 $> 25\text{m}$, harus $> 6 \text{ kN/m}$
- b. Kuat tarik jahitan (sambungan) harus $> 1 \text{ kN/m}$

4. Kapasitas Debit

PVD harus mengalirkan air ke lapisan selimut pasir (sand blanket) agar berfungsi maksimal. Ketika PVD sudah terpasang

ditanah maka kapasitas debit (q_w) PVD akan berkurang bila filter tertekan oleh tekanan tanah lateral disekitar PVD. FHWA, 1986 mensyaratkan uji kapasitas pangaliran dilakukan dengan tekanan kekang 350 kN/m². Kapasitas debit dapat dihitung dengan persamaan (FHWA,1986)

$$\frac{200\pi L^2 kh}{3\Delta t \left[\left(\frac{D}{d}\right) - 0,75\right]} \dots\dots\dots (11)$$

Δt = waktu tunda konsolidas (jam)

d = diameter drain (cm)

D = diameter zona drain (cm)

L = panjang drainase (PVD) (cm)

Kh = permeabilitas tanah (cm/jam)

Waktu percepatan konsolidasi tanah menjadi lebih lama jika PVD terlalu panjang. FHWA,1986 memberikan persyaratan kapasitas debit untuk PVD sebagai berikut:

- a. Untuk panjang PVD < 10m dan tidak ada maslaah stabilitas

$$q_w\text{-(lurus)} > 10 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = 315 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$q_w\text{-(tekuk)} > 7,5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = 236 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

- b. Untuk panjang PVD > 10m dan/ atau ada masalah stabilitas

$$q_w\text{-(lurus)} > 50 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = 1575 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

$$q_w\text{-(tekuk)} > 32 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{det} = 1183 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Spesifikasi Material PVD sesuai yang disyaratkan dalam SNI Geoteknik 8460:2017 sebagai berikut:

Tabel 13. Syarat bahan PVD (*prefabricated vertical drains*)

No	Parameter	Unit	SNI 8460:2017
A	<i>COMPOSITE</i>		
1	Tebal (<i>Thickness</i>)	mm	2-10
2	Lebar (<i>Width</i>)	mm	± 100
3	Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)		
-	Regang Putu (<i>Elongation Break</i>)	%	>2
-	Regang @0,5Kn (<i>Elongation at 0,5 kN tensile</i>)	%	≤ 10
-	Kuat Tark Minimum (<i>Tensile Strength at break</i>)	kN	$>1,5$
4	Uji Kaasitas Pelepasan (<i>Discharge Capacity</i>)	cm ³ /s	$\geq 6,5$
B	<i>FILTER</i>		
1	Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	kN/m	≥ 3
2	Ukuran Pori (<i>Apparent Opening Size</i>)	μm	<80
3	Index Kecepatan Filter (V_{h50})	Mm/s	>1

Sumber: SNI 8460:2017

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa yang menjadi alternatif perbaikan tanah pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2 ialah metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) karena nilai kadar air, konsolidasi tanah dan kepadatan tanah telah sesuai dengan persyaratan pada SNI 03-1742-2008 setelah dilakukan perbaikan tanah.

B. Saran

1. Pada penelitian teknik perbaikan tanah dengan metode *prefabricated vertical drain* ini, peneliti hanya meneliti tiga parameter saja, masih banyak faktor-faktor lain yang berhubungan dengan perbaikan tanah dengan metode *Prefabricated Vertical Drain*, sehingga perlu dikaji juga faktor-faktor lain yang berhubungan serta mempengaruhi perbaikan tanah.
2. Dalam pengujian parameter tanah di lapangan, sebaiknya tidak dilakukan pada saat musim hujan dikarenakan konsisi tanah sering dalam keadaan jenuh setelah hujan turun.
3. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui teknik perbaikan tanah dengan metode *Prefabricated Vertical Drais* dengan parameter lainnya seperti kemiringan, porositas, permeabilitas dan lain-lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, said jalalul. 2015. *Hubungan nilai cbr dan sand cone lapisan pondasi bawah pada perkerasan lentur jalan*. Teras Jurnal, 5(1), 21–31.
- Aldrian, B. 2016. *Penelitian Penurunan konsolidasi pada tanah lembung desa pare godean*. August.
- Badan Informasi Geospasial. 2017. *Land Subsidance Semarang-Demak*. Semarang
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *Cara uji penetrasi lapangan dengan alat sondir*. SNI 1–23.
- Bowles, J. E. 1984. *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Jakarta
- Bowles, Joseph E. Johan K. Helnim. 1991. *Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. PT. Erlangga. Jakarta
- Darwis. 2017. *Dasar-Dasar Teknik Perbaikan Tanah*. Nyutran MG II/14020 Yogyakarta. Yogyakarta
- Das, B.M. 1995. *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, 1-291
- Departement of The Army. 1999. *The Navy and The Air Force”Soil Stabilization For Pavements”*
- FHWA. 1995. *Dynamic Compaction-Geotechnical Engineering Circular No.1*. Office of Technology Applcation 400 Seventh Street, SW, Washington,DC 20590
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta:Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2014. *Tanah Ekspansif*. Yogyakarta:Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2020. *Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Herman. 2012. *Bab VII. Penurunan Mekanika Tanah*. 1–24. Mekanika Tanah Universitas Gajah Mada
- Indonesia, S. N., & Nasional, B. S. 2008. *Cara uji penentuan batas plastis dan indeks plastisitas tanah*. Jurnal Lingkungan Sultan Agung, 1(1), 29–41.