

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

¹⁾Nena Hidayah* Umar, ²⁾Yuliatun Huda Dianingsih, ³⁾Pratikso,
⁴⁾Nafi'ah

^{1,2,3,4)}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

*Corresponding Author:

nenahmr9@gmail.com

ABSTRAK

Karakteristik tanah yang dilalui pembangunan ruas Tol Semarang – Demak didominasi lunak. Tanah lunak mempunyai daya dukung rendah dan mengakibatkan penurunan tanah yang besar sebab beban yang ditopangnya. Proses konsolidasi tanah lunak membutuhkan waktu yang lama, sehingga perlu perbaikan tanah untuk mempercepat proses konsolidasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui waktu dan besar penurunan tanah akibat konsolidasi tanpa menggunakan dan menggunakan PVD, PHD, dan Geotekstil. Pada penelitian ini dilakukan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis Prefabricated Vertical Drain (PVD), Prefabricated Horizontal Drain (PHD), dan geotekstil. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan metode persamaan Terzaghi. Derajat Konsolidasi yang ditargetkan adalah saat mencapai derajat konsolidasi 90%. Analisis pola dan jarak antar PVD dihitung untuk mendapatkan pola dan jarak yang paling efektif untuk digunakan. Kedalaman PVD yang digunakan dalam perencanaan sedalam 23,55 m dengan tinggi timbunan 10 m. Besar penurunan tanah tanpa menggunakan PVD sebesar 2,102 m dengan waktu 2600 hari, sedangkan besar penurunan tanah menggunakan PVD sebesar 2,101 m dengan waktu 42 hari menggunakan pola segitiga dan jarak terdekat yaitu 0,9 m. Berdasarkan hasil perhitungan PVD dengan pola segitiga, maka setiap 1 ujung PVD mengeluarkan air seluas 0,701 m² dengan panjang lajur PHD maksimum 70,717 m menghasilkan estimasi debit air horizontal sebesar 0,000064 m³/s.

Kata Kunci : Konsolidasi; Penurunan tanah; PHD; PVD

ABSTRACT

The characteristics of the soil through which the construction of the Semarang – Demak toll road section is predominantly soft. Soft soil has a low bearing capacity and results in large soil settlement due to the load it supports. The consolidation process of soft soil takes a long time, so it is necessary to improve the soil to speed up the consolidation process. The purpose of this study was to determine the time and magnitude of soil subsidence due to consolidation without using and using PVD, PHD, and Geotextiles. In this study, soil improvement was carried out using geosynthetic types of Prefabricated Vertical Drain (PVD), Prefabricated Horizontal Drain (PHD), and geotextiles. Calculation of consolidation settlement using the Terzaghi equation method. The targeted Consolidation Degree is when it reaches the 90% consolidation degree. Analysis of patterns and distances between PVD's was calculated to get the most effective pattern and distance to use. The depth of PVD is used in the planning as deep as 23.55 m with an embankment height of 10 m. The amount of land subsidence without using PVD is 2.102 m with a time of 2600 days, while the amount of land subsidence using PVD is 2.101 m with a time of 42 days using a triangle pattern and the closest distance is 0.9 m. Based on the results of PVD calculations with a triangular pattern, every 1 end of the PVD discharges water with an area of 0.701 m² with a maximum PHD line length of 70.717 m resulting in an estimated horizontal water discharge of 0,000064 m³/s.

Keywords : Consolidation; Land subsidence; PHD; PVD

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan tol merupakan salah satu infrastruktur yang dibutuhkan di Indonesia untuk membantu pertumbuhan lalu lintas regional dan mendorong distribusi produk dan jasa dalam mendukung ekspansi ekonomi. Pengurangan lalu lintas di sepanjang garis pantai Semarang-Demak dan pencegahan banjir rob di sepanjang pantai utara adalah dua tujuan dari Tol Semarang-Demak, yang menghubungkan Kota Semarang dan Kabupaten Demak dan memiliki tanggul laut penahan pasang surut.

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

Kota Semarang terbentuk dari tekstur tanah endapan (aluvial). Kabupaten Demak terdiri atas tekstur tanah halus (lanau) dan tekstur tanah sedang (lempung). Jalan tol antara Semarang dan Demak sebagian besar melewati tanah lunak. Perbaikan tanah dengan tipe Geosintetik *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan Geotekstil diperlukan untuk Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak, seperti dijelaskan di atas.

B. Rumusan Masalah

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

C. Maksud dan Tujuan

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

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tanah Lunak

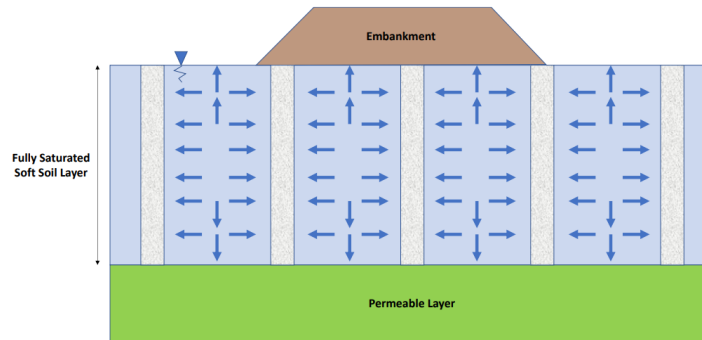
Tanah lunak memiliki nilai kompresibilitas yang tinggi, seringkali tersusun dari lempung Holosen (10.000 tahun), dan terbentuk secara alami melalui proses pengendapan di dataran aluvial pesisir, sungai, danau, dan rawa (Wardoyo et al., 2019). Tanah lunak merupakan tanah berstabilitas rendah yang menimbulkan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

Tanah lunak memiliki gaya geser yang rendah, kompresibilitas yang tinggi, dan koefisien permeabilitas yang tinggi. Jika tanah lunak dikenai beban melebihi daya dukung kritisnya untuk jangka waktu yang lama, celah antara partikel tanah akan terjepit dan penurunan tanah akan meningkat.

Proses konsolidasi tanah lunak membutuhkan waktu yang lama, sehingga perlu perbaikan tanah untuk mempercepat proses konsolidasi. Agar nantinya saat konstruksi dilakukan dan atau sudah jadi, tidak mengalami penurunan yang sangat besar yang dapat merusak bangunan. Maka pada proyek pembangunan tol Semarang-Demak memerlukan perbaikan tanah menggunakan Geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD), dan Geotekstil.

Prefabricated Vertical Drain (PVD) merupakan jalur drainase buatan yang dimasukan ke dalam lapisan lempung dengan material *geocomposite* berupa lembaran plastik yang dipasang untuk drainase *vertical*. *Prefabricated horizontal drain* (PHD) adalah produk geosintetik yang memiliki inti dan filter sebagai bagian komponennya yang dimasukan

ke dalam lapisan tanah lunak untuk drainase horizontal. Perbaikan Tanah lunak ini menggunakan geosintetik jenis geotekstil yang berfungsi sebagai separator. Geosintetik yang digunakan merupakan jenis geotekstil non woven (tak teranyam) karena memiliki kelebihan selain sebagai separator juga berfungsi sebagai filter yang dapat mengalirkan air tanpa membawa tanah timbunan.



Gambar 1. Jalur Drainase Selama Proses Konsolidasi dengan PVD

B. Penurunan Tanah (*Settlement*) dan Konsolidasi

Apabila suatu tanah mendapat beban di atasnya maka, tekanan air pori akan meningkat dan mencari jalan keluar maka, setelah air pori berangsur-angsur keluar diisi dengan butiran tanah, sehingga volume tanah berkurang sehingga terjadi penurunan tanah (Pratikso, 2008).

1. Penurunan Segera

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

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

Dengan :

- S_i = Penurunan akhir lapisan setebal H (m)
- H = Tebal lapisan tanah (m)
- C = Kohesi tanah (gr/cm²)
- P_o' = Tekanan *overbudden* efektif awal (t/m²)
- ΔP = Tambahan tegangan vertikal pada tengah lapisan (t/m²)

2. Penurunan Konsolidasi Primer

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

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

Dengan :

- S_c = Penurunan konsolidasi primer (m)
- H = Tebal lapisan lempung (m)

e_0	= Angka pori awal	(initial void ratio)
C_c	= Compression index	
ΔP	= Besarnya tegangan di muka tanah	(t/m ²)
P_o'	= Tegangan <i>overburden</i> efektif	(t/m ²)

3. Penurunan Total

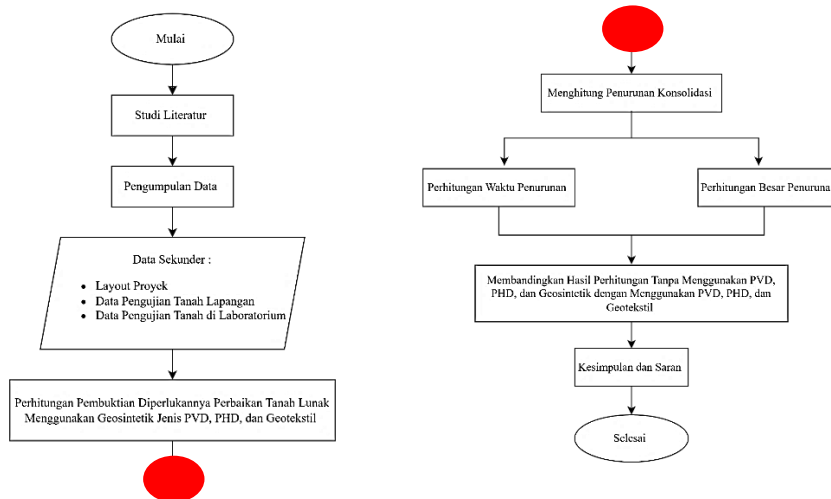
Penurunan total adalah jumlah dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi primer.

$$S_t = S_i + S_c$$

Dengan :

S_t	= Penurunan total	(m)
S_i	= Penurunan segera	(m)
S_c	= Penurunan akibat konsolidasi primer	(m)

METODE PENELITIAN



Gambar 2. Bagan Alir Tahapan Kajian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Penurunan Segera dengan Rencana Timbunan

Tabel 1 Perhitungan Penurunan Segera (S_i) dengan Rencana Timbunan

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

B. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Primer dengan Rencana Timbunan

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

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

C. Perhitungan Penurunan Total

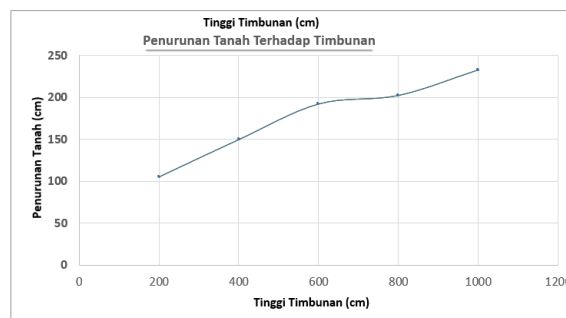
Tabel 3 Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan

Tinggi Timbunan (cm)	Penurunan Tanah (cm)
200	105,255

Lanjutan dari **Tabel 3** Perhitungan Penurunan Total (S_t) dengan Rencana Timbunan

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

Berdasarkan tabel di atas dapat digambarkan dengan grafik sebagai berikut:



Gambar 3 Grafik Penurunan Tanah dengan Rencana Timbunan

D. Menentukan Waktu Penurunan Tanpa PVD

Tabel 4 Perhitungan Waktu Penurunan Tanpa PVD

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

E. Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segitiga

Tabel 5 Perhitungan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segitiga

Jarak PVD (m)	Waktu (Hari)	Besar Penurunan (m)
0,9	42	2,101
1	55	2,105
1,2	86	2,105
1,4	124	2,102
1,6	170	2,101

F. Menentukan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segi Empat

Tabel 5 Perhitungan Waktu Penurunan dengan PVD Pola Segi Empat

Jarak PVD (m)	Waktu (Hari)	Besar Penurunan (m)
0,9	52	2,116
1	66	2,104
1,2	105	2,115
1,4	148	2,101
1,6	205	2,106

G. Perencanaan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)

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

- Debit Air Vertikal Rata-rata per m²
 Volume aliran air = Besar pemampatan x 1 m²
 = 2,101 x 1
 = 2,101 m³
- Estimasi Debit Air per 1 titik PVD dengan mengacu pada persamaan 2.58

$$A_e = \frac{\pi}{4} D^2 \text{ untuk pola segitiga}^2$$

$$= \frac{3,14}{4} D^2 \text{ untuk pola segitiga}^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 0,945^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 0,893025$$

$$= 0,701 \text{ m}^2$$

Artinya, setiap 1 titik ujung *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengeluarkan air seluas 0,701 m².
 Sehingga, 1 titik ujung PVD mengeluarkan air vertikal sebesar (Q)
 $A_e \times Q = 0,701 \times 5,7E-07 = 4E-07 \text{ m}^3/\text{s}$
 Setiap 1 titik ujung *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) mengeluarkan air dengan debit rata – rata = 4E-07 m³/s
- Panjang maksimal lajur *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD)
 Panjang maksimal lajur PHD = $\frac{1}{2}$ x panjang daerah yang diperbaiki
 = 0,5 x 141,434
 = 70,717 m
- Jumlah Ujung PVD pada 1 lajur PHD untuk 2 lajur PVD
 Jarak = 0,9 m
 Jumlah titik PHD = $2 \times \left(\frac{70,717}{0,9}\right)$
 = 2 x 78,57444444
 = 157,149 titik
 = 157 titik
- Estimasi Debit Maksimum Aliran Air Horizontal
 Debit = N x q
 = 157 x 4E-07
 = 6E-05 m³/s
- Penggunaan PHD Jenis CETEAU CT-SD100-20
 Kapasitas PHD CT-SD 100-20 = 3,77 x 10⁻⁴
 = 0,00038 m³/s
 Faktor Keamanan (SF) = $\frac{\text{Kapasitas PHD CT-SD 100-20}}{\text{Estimasi Debit Maksimum Horizontal}}$

$$= \frac{0,00038}{6E-05}$$

$$= 5,910$$

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

KESIMPULAN

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

1. Kondisi tanah pada wilayah Semarang - Demak terletak di daerah sedimen formasi *alluvium* (Qa) yang sangat muda. Daerah ini memiliki jenis tanah yaitu tanah lempung lunak. Jenis tanah di kawasan ini juga memiliki kompresibilitas tinggi dan daya dukung yang rendah, sehingga menimbulkan kendala penurunan atau ketidak stabilan daya dukung. Maka dari itu, diperlukan perbaikan tanah menggunakan geosintetik jenis *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), *Prefabricated Horizontal Drain* (PVD), dan geotekstil.
2. Berdasarkan hasil tanpa menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) untuk mencapai derajat konsolidasi 90% membutuhkan waktu selama 2600 hari dengan tinggi timbunan 10 m dengan besar penurunan 2,101677 m
3. Kedalaman *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) yang digunakan dalam perencanaan sedalam 23,55 m dengan tinggi timbunan 10 m. Berdasarkan pola segitiga dengan jarak 0,9 m diperoleh waktu selama 42 hari. Sedangkan dengan pola segiempat dengan jarak 0,9 m diperoleh waktu selama 52 hari. Dari hasil perbandingan tersebut disimpulkan bahwa efektifitas *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dipengaruhi oleh jarak dan pola. Semakin besar jarak yang diberikan, semakin lama waktu penurunannya. Dan berdasarkan perhitungan lebih efisien menggunakan pola segitiga. Berdasarkan hasil perhitungan PVD dengan pola segitiga, maka setiap 1 ujung PVD mengeluarkan air seluas 0,701 m² dengan panjang lajur PHD maksimum 70,717 m menghasilkan estimasi debit air horizontal sebesar 0,000064 m³/s.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfinada Muhammad, Tony Ridwan Anggriawan, Gata Dian Asfari, Abdul Rochim. (2016). *Analisis Penurunan Tanah Dan Perbaikan Tanah Lunak Dengan Pvd (Prefabricated Vertical Drains)*. Skripsi Teknik Sipil UNISSULA. Diambil dari: <http://repository.unissula.ac.id/6564/>, 24 Februari 2022
- Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah 1*. Erlangga. Jakarta
- Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Tanah, Jilid 1*. Erlangga. Jakarta
- Das, B. M. 1993. *Mekanika Tanah, Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Tanah, Jilid 2*. Erlangga. Jakarta
- Djarwanti Noegroho. (2008). *Komparasi Koefisien Permeabilitas (K) Pada Tanah Kohesif*. Media Teknik Sipil FT UNS/Januari 2008/21
- Elib.unikom. (12 januari 2010). *Bab X Konsolidasi*. Praktikum Mekanika Tanah unikom. Diakses pada 7 Maret 2022, dari

<https://elib.unikom.ac.id/files/disk1/380/jbptunikompp-gdl-irailraswa-18984-10-bab10k-i.pdf>

- Ghifari Raihan Akbar, Harvesta Anugerah Aji. (2020). *Kerja Praktek Proyek Jalan Tol Semarang - Demak Pt Pp (Persero) Tbk*. Fakultas Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diambil dari: https://repository.its.ac.id/82552/1/03111740000051_03111740000065-Project_Report.pdf, 24 februari 2022.
- Hansbo, S. (1979). "Consolidation of clay by band-shaped prefabricated drains". *Ground Enginnering*. July, Vol.12, No. 5
- Hardiyatmo Hary Christady. (2014). *Mekanika Teknik 2*. Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Edisi kelima. Gadjah Mada University Press
- Hasan Muhammad Nur. (2018). *Pra Rancangan Pabrik Kain Non-Woven Geotekstil Dengan kapasitas 18.000.000 Meter/Tahun*. Teknik Kimia Universitas Islam Indonesia. Diambil dari: https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/11327/Muhammad_Nur_Hasan_14521167_TA_Perancangan_Pabrik_Tekstil_Kain_non_Woven_Geotekstil.pdf?sequence=1, 31 Maret 2022
- Jun, X. (2008). *Bahan Ajar Geografi Kota Semarang Demak*. *Online Review*, 93-108.
- Kurniawan Dedy, Iswan, Setyanto. (2015). *Hubungan Nilai Konsolidasi dan Nilai Kuat Tekan Bebas pada Tanah Lempung yang Disubstitusi Material Pasir*. *JRSDD*, Edisi Maret 2015, Vol. 3, No. 1, Hal:131 - 144 (ISSN:2303-0011)
- Ningsih Ana Crosita. (2018). *Perbaikan Perencanaan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain*. Fakultas Teknik Universitas Jember. Diambil dari: <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/85881>, 16 Februari 2022.
- Nugroho Muhammad Fismayana. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah Dasar Dan Perkuatan Stabilitas Timbunan Jalan Tol Terbanggi Besar-Pematang Panggang Sta 46+900 S.D Sta 51+100*. Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihutan Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diambil dari: https://repository.its.ac.id/55723/1/03111440000097-Undergraduate_Theses.pdf, 1 Maret 2022.
- Pedoman Kimpraswil No: Pt T-8-2002-B. *Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak*.
- Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 003/BM/2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan perkuatan tanah dengan geosintetik*.
- Pratikso. (2022). *Bahan Ajar PPT Aplikasi PVD*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

- Pratikso. (2008). *Mekanika Tanah 1*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Ranty Olyvia Gemala, Totoh Andayono. (2021). *Perbaikan Tanah Dengan Metode Prefabricated Vertical Drain Pada Proyek Jalan Tol Semarang-Demak Seksi 2*. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/cived/index>. Volume 8 No. 1 Maret 2021. 32-37.
- Risdianta Ryan Hendraning. (2018). *Perencanaan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Preloading Dengan Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Dan Prefabricated Horizontal Drain (Phd) Pada Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung Area Amanda Dan Btari*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Diambil dari: <http://repository.ub.ac.id/9623/>, 24 Februari 2022.
- Suyono Sosrodarsono dan Kazoto Nakayawa. (1984). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Pradnya Paramita. Jakarta
- Terzaghi, K. And Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York. John Wiley & Sons Inc
- Utami Erdina Tyagita, dkk. (2019). *Analisis Stabilitas pada Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik Sipil Itenas No 3 Vol 5, September 2019.
- Viona Diannery Vivi, Pratikso, Soedarsono. (2021). *Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan Pvd – Phd (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket Ii Sta 21+850)*. Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
- Wardoyo, dkk. (2019). *Atlas Sebaran Tanah Lunak Indonesia*. Badan Geologi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Edisi 2019. Bandung
- Widjaja Budijanto, Priscillia Sundayo. (2016). *Alternatif Penentuan Batas Cair Dan Batas Plastis Dengan Tiga Variasi Berat Konus Menggunakan Metode Lee Dan Freeman (2009)*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Katolik Parahyangan. Volume 14, No. 1, Oktober 2016, 62 – 67