

PERBANDINGAN PERBAIKAN TANAH LUNAK MENGUNAKAN METODE PRELOADING, VACUUM PRELOADING, DAN DIKOMBINASIKAN PEMODELAN PLAXIS 2D

Adinda Alif Mukti¹⁾, Nur Andajani²⁾

¹⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia

Email: adindaalifmukti@gmail.com

²⁾Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya
Surabaya, Indonesia

Email: nurandajani@unesa.ac.id

Abstract

The Semarang-Demak Toll Road Project is very important to handle the increasing number of vehicle volumes. The project was investigated and it was found that the soil was dominated by soft soil. The soil conditions in Semarang have decreased by 9 cm in 2023. With these conditions, soil improvement is needed. Soil improvement can be done using several methods such as the preloading method and the vacuum preloading method. This study aims to compare land subsidence and soil consolidation time. The results of the study showed that land subsidence with a compression time at a degree of consolidation of 90% carried out using the preloading method resulted in 4.107 meters for 9778 days. While the vacuum preloading method resulted in 2.147 meters for 137 days. In the 2D Plaxis application modeling, land subsidence in the 2D Plaxis application with the preloading method was obtained at 4.844 meters, while in the manual calculation of the preloading method it was obtained at 4.107 meters. The difference in land subsidence comparison between 2D Plaxis and manual calculations was 15.08%.

Keywords: land subsidence, compression time, preloading method, vacuum preloading method

Abstrak

Proyek Jalan Tol Semarang – Demak sangat penting untuk menangani peningkatan jumlah volume kendaraan. Proyek tersebut dilakukan penyelidikan tanah dan didapatkan bahwa tanah tersebut dominan oleh tanah lunak. Kondisi tanah di Semarang mengalami penurunan sebesar 9 cm pada tahun 2023. Dengan adanya kondisi tersebut, perlu diadakannya perbaikan tanah. Perbaikan tanah dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti metode preloading dan metode vacuum preloading. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan penurunan tanah dan waktu konsolidasi tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan tanah dengan waktu pemampatan pada derajat konsolidasi 90% yang dilakukan dengan metode preloading menghasilkan 4,107 meter selama 9778 hari. Sedangkan dalam metode vacuum preloading menghasilkan 2,147 meter selama 137 hari. Pada pemodelan aplikasi plaxis 2D, penurunan tanah pada aplikasi plaxis 2D dengan metode preloading didapatkan sebesar 4,844 meter, sedangkan pada perhitungan manual metode preloading didapatkan sebesar 4,107 meter. Selisih perbandingan penurunan tanah antara plaxis 2D dan perhitungan manual sebesar 15,08%.

Kata Kunci: penurunan tanah, waktu pemampatan, metode preloading, metode vacuum preloading

PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk menuntut pembangunan infrastruktur yang lebih baik dan lebih maju. Area yang layak untuk dilakukan sebuah pembangunan infrastruktur semakin terbatas seperti pembangunan jalan tol. Pembangunan jalan tol dilakukan sesuai perencanaan dan perhitungan yang tepat, tidak boleh dilakukan secara tidak benar dan tidak sesuai perencanaan dan perhitungan yang berlaku. Hal penting yang harus diperhatikan dalam pembangunan jalan tol salah satunya adalah kondisi tanah. Kondisi tanah menjadi hal yang sangat diperhatikan karena akan menjadi pondasi berdirinya suatu bangunan. Jika kondisi tanah kurang baik dan tidak sesuai dengan perencanaan dan perhitungan, akan mengakibatkan terjadinya kerusakan bangunan bahkan keruntuhan bangunan tersebut.

Tahapan sebelum diadakannya suatu pembangunan jalan tol, perlu dilakukan tahapan penyelidikan tanah guna mengetahui kondisi tanah dan jenis tanah yang berada di area tersebut. Jika pada tahapan penyelidikan tanah menyatakan bahwa kondisi tanah kurang baik, maka perlu dilakukan tahapan pelaksanaan seperti perbaikan tanah.

Berdasarkan artikel Gusti Grehenson pada tahun 2023, pakar UGM menyebutkan bahwa penurunan tanah yang terjadi pada daerah Semarang mencapai 9 cm selama jangka waktu 1 tahun. Untuk itu, dilakukannya perbaikan tanah tersebut guna mengurangi adanya penurunan tanah yang berlebihan.

Berdasarkan data penyelidikan tanah berupa boring log pada Proyek Tol Semarang – Demak BHTI 01 Sta 18+350, lapisan tanah lunak berada pada kedalaman hingga 15,50 meter dengan nilai N-SPT kurang dari 15. Menurut tabel klasifikasi situs pada SNI 1726 tahun 2019, nilai N-SPT tanah lunak adalah kurang dari 15. Sehingga jenis tanah pada Proyek Tol Semarang – Demak termasuk kedalam jenis tanah lunak dan perlu dilakukan proses perbaikan tanah untuk mendapatkan kondisi tanah yang lebih baik untuk dilakukan Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak.

Oleh karena itu, judul yang diambil yaitu “Perbandingan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Preloading, Metode Vacuum Preloading Dan Dikombinasikan dengan pemodelan Aplikasi Plaxis 2D (Studi Kasus Tol Semarang – Demak BHTI 01 Sta 18+350)”.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan penelitian kuantitatif karena lebih sistematis, terencana, dan terstruktur. Sebab, data yang diolah untuk penelitian ini berasal dari data proyek tol Semarang – Demak BHTI 01 sta 18+350. Sumber data berupa data laboratorium penyelidikan tanah yang digunakan untuk dasar perhitungan penurunan tanah dan waktu pemampatan tanah pada perbaikan tanah lunak. Penelitian dimulai dengan mempelajari berbagai studi literatur yang telah didapatkan. Kemudian mengumpulkan data sehingga dapat mengetahui penurunan tanah yang terjadi seperti data penyelidikan tanah yang berupa data sondir dan boring log. Kemudian melakukan proses perhitungan konsolidasi tanah yang terjadi. Kemudian menginterpretasikan hasil analisis dan perhitungan kedalam pengolahan data dengan bahasa yang mudah dipahami.

Rumus penurunan tanah berdasarkan (Das, 1995) sebagai berikut :

1. Normal Consolidated (NC) ($\sigma' = \sigma_c'$)

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma}{\sigma'} \right) \quad (1)$$

2. Over Consolidated (OC) ($\sigma' + \Delta\sigma \leq \sigma_c'$)

- a. $\sigma' + \Delta\sigma \leq \sigma_c'$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma}{\sigma'} \right) \quad (2)$$

- b. $\sigma' + \Delta\sigma > \sigma_c'$

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1+e_0} \log \frac{\sigma_c'}{\sigma'} + \frac{C_c \cdot H}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma' + \Delta\sigma}{\sigma_c'} \right) \quad (3)$$

Keterangan :

SC = Besar pemampatan
H = Tebal Lapisan
 σ' = Tegangan Overburden Efektif
 σ_c' = Tegangan Prakonsolidasi
 $\Delta\sigma$ = Penambahan Beban Vertical (Beban Luar)
Cs = Indeks Pemuai (Swelling index)
Cc = Indeks Pemampatan (Compression Index)
eo = Angka Pori

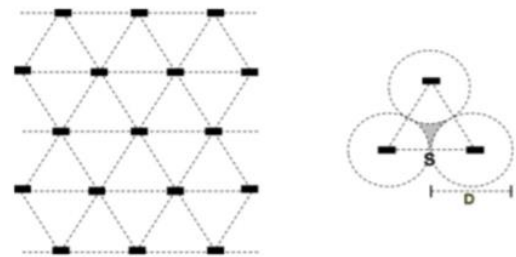
Rumus waktu konsolidasi berdasarkan (Terzaghi & Peck, 1987) sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \text{Hdr}^2}{C_v} \quad (4)$$

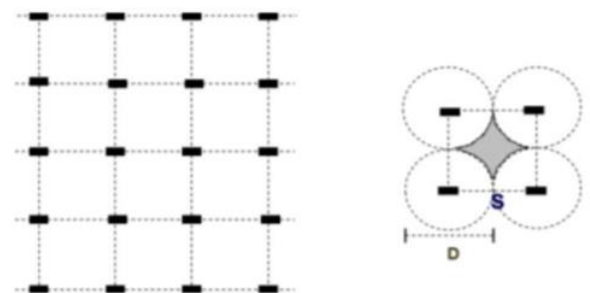
Keterangan :

Tv = faktor waktu
Cv = koefisien konsolidasi (cm²/sec)
t = waktu konsolidasi
Hdr = panjang lintas drainas terpanjang (m)

Pada perencanaan Prefabricated Vertical Drain (PVD), terdapat 2 pola yang digunakan yaitu pola segitiga dan pola segiempat yang dijelaskan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Pola Segitiga
Sumber : (Ralinda,2022)



Gambar 2. Pola Segiempat
Sumber : (Ralinda, 2022)

Zona pengaruh PVD (D) merupakan jarak antar PVD, umumnya dipasang dalam pola segiempat atau pola segitiga. Nilai D dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$D = 1,13 \times S \gg \text{pola segiempat}$$

$$D = 1,05 \times S \gg \text{pola segitiga}$$

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang sudah disusun sedemikian rupa seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Bagan Air

Sumber : Hasil Dokumentasi Pribadi (2025)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penurunan Tanah Metode Preloading (Tanpa Vacuum)

Penurunan tanah metode preloading menghasilkan nilai beban sebesar 12,161 t/m². Dengan nilai beban tersebut, penurunan pada masing – masing lapisan didapatkan hasil seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penurunan Tanah Dengan Metode Preloading (Tanpa Vacuum)

Kedalaman (m)	σ_0	σ_c'	$\sigma_0 + \Delta\sigma$	Sc
0 - 5	0,159	0,540	12,320	1,363
5 - 7	0,159	0,540	12,320	0,551
7 - 10	0,160	0,535	12,321	0,828
10 - 15	0,160	0,535	12,321	1,364
Total				4,107

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 1 menunjukkan hasil dari penurunan tanah dengan menggunakan metode preloading pada setiap lapisan kedalaman tanah. Penurunan tanah pada kedalaman 0-5 meter sebesar 1,363 meter, kedalaman 5-7 meter sebesar 0,551 meter, kedalaman 7-10 meter sebesar 0,828 meter, dan kedalaman 10-15 meter sebesar 1,364 meter. Hasil penurunan keseluruhan sampai kedalaman 15 meter sebesar 4,107 meter.

Hasil Penurunan Tanah Metode Vacuum Preloading (Dengan Vacuum)

Penurunan tanah dengan metode preloading menghasilkan nilai beban sebesar 2,359 t/m². Dengan nilai beban tersebut, didapatkan penurunan pada masing – masing lapisan seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Penurunan Tanah Dengan Metode Vacuum Preloading (Dengan Vacuum)

Kedalaman (m)	σ_0	σ_c'	$\sigma_0 + \Delta\sigma$	Sc
0 - 5	0,159	0,540	2,518	0,712
5 - 7	0,159	0,540	2,518	0,288
7 - 10	0,160	0,535	2,519	0,434
10 - 15	0,160	0,535	2,519	0,714
Total				2,147

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Tabel 2 menunjukkan hasil dari penurunan tanah dengan menggunakan metode preloading pada setiap lapisan kedalaman tanah. Penurunan tanah pada kedalaman 0-5 meter sebesar 0,712 meter, kedalaman 5-7 meter sebesar 0,288 meter, kedalaman 7-10 meter sebesar 0,434 meter, dan kedalaman 10-15 meter sebesar 0,714 meter. Hasil penurunan keseluruhan sampai kedalaman 15 meter sebesar 2,147 meter.

Hasil Waktu Pemampatan Metode Preloading

Pemampatan tanah dasar ini dibiarkan terjadi secara alami menggunakan tanah timbunan. Dalam menghitung waktu pemampatan tanpa PVD dilakukan sampai derajat konsolidasi (\bar{U}) sebesar 90% berdasarkan nilai faktor waktu pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Faktor Waktu

Derajat Konsolidasi U%	Faktor Waktu (Tv)
0	0
10	0,008
20	0,031
30	0,071
40	0,126
50	0,197
60	0,287
70	0,403
80	0,567
90	0,848
100	∞

Sumber : Braja Das 1995

Tabel 4. Parameter Perhitungan Waktu Konsolidasi

Lapisan	Cv	$\frac{H_i}{\sqrt{Cv_i}}$	Cm
0 - 5	0,000582	20725,67	500
5 - 7	0,000582	8290,267	200
7 - 10	0,000550	12792,04	300
10 - 15	0,000550	21320,07	500
Total		63128,05	1500

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Karena nilai Cv yang berbeda, maka menggunakan nilai gabungan (Cvgabungan). Perhitungan Cvgabungan dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 C_v \text{ gabungan} &= \frac{(H_1+H_2+\dots+H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}}\right)^2} \\
 &= \frac{(1500)^2 / ((63128,05)^2)}{=} \\
 &= 0,000565 \text{ cm}^2/\text{detik} \\
 &= 1,78051 \text{ m}^2/\text{tahun} \\
 t_{90} &= \frac{\sqrt{V \cdot Hdr^2}}{C_v} \\
 &= \frac{0,848 \times (7,5)^2}{(1,78051)} \\
 &= 26,79 \text{ tahun} = 9778 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Pemampatan tanah dengan menggunakan preloading yang menggunakan tanah timbunan membutuhkan waktu 9778 hari.

Hasil Waktu Pemampatan Metode Vacuum Preloading

Pemampatan tanah dengan vacuum preloading dilakukan pada kedalaman 15 meter dan menggunakan PVD. Pemasangan PVD digunakan pola segitiga dengan jarak sebesar 0,9 meter.

$$C_{vgabungan} = 0,000565 \text{ cm}^2/\text{detik} = 0,004878 \text{ m}^2/\text{hari}$$

$$\begin{aligned}
 Ch &= 2 \times C_{vgabungan} \\
 &= 2 \times 0,004878 \\
 &= 0,009756 \text{ m}^2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Hdr \text{ (PVD)} &= 15 \text{ meter} \\
 Lebar \text{ PVD} &= 0,1 \text{ m} \\
 Tebal \text{ PVD} &= 0,01 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan Diameter Ekuivalen (dw)} : \\
 dw &= \sqrt{\frac{2(a+b)}{\pi}} = \sqrt{\frac{2(0,1+0,01)}{(3,14)}} = 0,070 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Perhitungan Diameter pengaruh PVD (D)} : \\
 \text{Diketahui nilai } S &= 0,9 \text{ m} \\
 D &= 1,05 \times S \\
 &= 0,945 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Faktor Jarak F(n) :

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{D}{dw} \\
 &= \frac{0,945}{(0,070)} = 13,48 \text{ buah} \rightarrow 14 \text{ buah} \\
 F(n) &= \left[\frac{n^2}{(n^2-1)^2} \right] \left[\ln(n) - \left(\frac{3n-1}{4n^2} \right) \right] \\
 &= \left[\frac{14^2}{(14^2-1)^2} \right] \left[\ln(14) - \left(\frac{3(14)-1}{4(14)^2} \right) \right] \\
 &= 2,60
 \end{aligned}$$

Perhitungan Waktu Konsolidasi (t) :

$$\begin{aligned}
 t_{90} &= \left(\frac{D^2}{8 \cdot Ch} \right) \times 2 \times F(n) \times \ln \left(\frac{1}{1-11h} \right) \\
 &= \left(\frac{0,945^2}{8 \times 0,009756} \right) \times 2 \times 2,60 \times \ln \left(\frac{1}{1-0,9} \right) \\
 &= 137 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

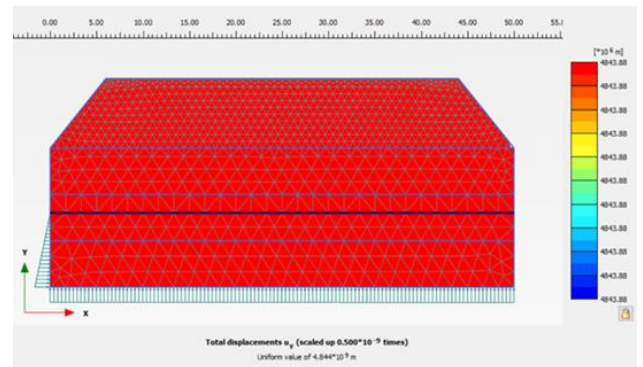
Pemodelan Aplikasi Plaxis 2D

Pada pemodelan aplikasi plaxis 2D, dibutuhkan parameter tanah seperti tabel 5.

Tabel 5. Parameter Tanah Pada Aplikasi Plaxis 2D

Lapisan	Parameter Tanah				
	E	Ysat	e	C	n
1	2000	1,591	1,610	0,047	61,69
2	2000	1,612	1,582	0,047	61,69
3	2000	1,612	1,582	0,036	61,80
4	2000	1,602	1,618	0,036	61,80

Sumber : Data Laboratorium Tanah



Gambar 4. Hasil Pemodelan Plaxis 2D Dengan Metode Preloading

Sumber : Hasil Pengolahan Aplikasi Plaxis 2D (2025)

Berdasarkan hasil pemodelan penurunan tanah pada aplikasi plaxis 2D dengan menggunakan metode preloading didapatkan hasil penurunan tanah sebesar 4,844 meter. Sedangkan hasil penurunan tanah dengan perhitungan manual metode preloading didapatkan sebesar 4,107 meter. Jika dibandingkan antara aplikasi plaxis 2D dan perhitungan manual didapatkan selisih perbandingan penurunan tanah sebesar 15,08%.

Rekapitulasi Perbandingan Metode Preloading dan Metode Vacuum Preloading

Metode preloading dan metode vacuum preloading memiliki beberapa perbandingan antara penurunan tanah dan waktu konsolidasi. Perbandingan tersebut berdasarkan pada nilai beban yang berbeda pada tiap metodenya. Nilai beban antara kedua metode ditampilkan pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai beban metode preloading dan metode vacuum preloading

$\Delta\sigma$	
Preloading	Vacuum Preloading
12,161	2,359

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Hasil rekapitulasi nilai penurunan tanah dan waktu konsolidasi ditampilkan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rekapitulasi Nilai Penurunan Tanah dan Waktu Konsolidasi

Metode	Penurunan	Waktu
--------	-----------	-------

	Tanah (meter)	Konsolidasi (hari)
Preolading Vacuum	4,107	9778
Preloading	2,147	137

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Simpulan

1. Hasil penurunan tanah berdasarkan metode preloading menghasilkan penurunan tanah sebesar 4,107 meter dengan beban timbunan (tanpa beban vacuum) sebesar 12,161 t/m³. Sedangkan metode vacuum preloading menghasilkan penurunan tanah sebesar 2,147 meter dengan beban timbunan (dengan beban vacuum) sebesar 2,359 t/m³.
2. Waktu penurunan tanah berdasarkan metode preloading didapatkan waktu selama 9778 hari dan metode vacuum preloading didapatkan waktu selama 137 hari.
3. Pemodelan penurunan tanah pada aplikasi plaxis 2D dengan metode preloading didapatkan sebesar 4,844 meter. Sedangkan pada perhitungan manual metode preloading didapatkan sebesar 4,107 meter. Perbandingan antara aplikasi plaxis 2D dan perhitungan manual didapatkan selisih perbandingan penurunan tanah sebesar 15,08%.

Ucapan Terima Kasih

Kehadirat Allah SWT atas Rahmat-Nya dan ucapan terima kasih kepada dosen pembimbing, orang tua dan rekan - rekan yang telah berpartisipasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, I. (2007). Analisa Metode Perbaikan Tanah Lunak Dan Kohesif. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 2(2), 9. <https://doi.org/10.21009/jmenara.v2i2.7881>
- Azis, 2024. (2024). *Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Kombinasi Preloading Dan Surchage Load Dengan Pemasangan PVD Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang - Demak*. 4(02), 7823–7830.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik Standar Nasional Indonesia SNI 8460:2017. *Badan Standardisasi Nasional*, 8460, 1–323.
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. *Penerbit Erlangga*, 1–300.
- Di, P., & Lombok, K. (2021). *Disusun Oleh: ARSY ROSIDARTA Mataram, 30 Juli 2021 Pembimbing I, Pembimbing II, Dekan, NIDN. 0824017501*.
- Ekamargarezki, Y. D. (2011). Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Instrumen Geoteknik Pada Area Cluster D Kawasan Kota Summarecon Bandung Dengan Metode Vacuum Consolidation. In *Geotechnical, Geological and Earthquake Engineering* (Vol. 18).
- Hamdan, I. N. 2023. (n.d.). 2023-08 (JMTS v6n3) - *Pemodelan Perbaikan Tanah Lempung Lunak Mengg Vacuum Preloading (1).pdf*.
- Hardiyatmo, H. C. (2002a). Mekanika Tanah I Jilid III. *Gadjah Mada University Press*, 1.
- Hardiyatmo, H. C. (2002b). Mekanika Tanah II. *Gadjah Mada University Press*, 91(5), 1–398.
- Johannes, D. (2020). *METODE PRELOADING (STUDI KASUS) SKRIPSI Disusun Oleh: UNIVERSITAS MEDAN AREA*.
- Panguriseng, D., & Makassar, U. M. (2018). *DASAR-DASAR* (Issue March).
- Ralindra, D. F. (2022). Modifikasi Perbaikan Tanah Dasar Tol Semarang–Demak: Metode Vacuum Preloading dengan Prefabricated Vertical Drain. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(2), 163. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v20i2.11188>
- Sastilaya, J., & Sentosa, G. S. (2021). Metode Vacuum Consolidation Dengan Preloading Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Pada Perumahan Di Tangerang. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(1), 171. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.10526>
- Siska, H. N., & Yakin, Y. A. (2016). Karakterisasi sifat fisis dan mekanis tanah lunak di Gedebage. *RekaRacana: Jurnal Teknil Sipil*, 2(4), 44–55. <https://ejournal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/1143>
- Sistem, D., & Standar, P. (2020). *Penerapan Standar Nasional Indonesia*. 8.
- Suardi, E., Liliwanti, L., Misriani, M., & Iqbal, I. (2021). Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Metode Preloading pada Jalan Tol Palembang-Indralaya Sta

- 1+670. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*,
10(2), 191.
<https://doi.org/10.36055/fondasi.v10i2.12545>
- Susiazti, H., Widiastuti, M., Widyati, R., & Widayati, R. (2020). Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd). *JURNAL TEKNOLOGI SIPIL Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Sipil*, 4, 1–8.
- Terzaghi, K., & Peck, R. B. (1987). Mekanika Tanah Dalam Praktek Rekayasa. *Penerbit Erlangga*, 2, 1–373.
- Wahyu, A. L. (2019). *Efektivitas Vacuum Preloading dalam Menghilangkan Pemampatan Sekunder pada Proyek Pembangunan Kawasan Kota Summarecon Bandung*. <http://repository.its.ac.id/id/eprint/61056>