

ANALISIS DERAJAT KONSOLIDASI BERDASARKAN HASIL PEMBACAAN PIEZOMETER PADA PROYEK TOL TRANS SUMATERA

Aditya Christiandi Sinulingga¹, dan Andryan Suhendra²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
adityachristiandi@gmail.com

² Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Binus University,
Jl. K.H. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480
andryan@geosinindo.co.id; asuhendra@binus.ac.id

Masuk: 10-01-2021, revisi: 02-02-2021, diterima untuk diterbitkan: 11-03-2021

ABSTRACT

The development of toll road or expressway infrastructure in Indonesia is urgently needed because it can reduce inefficiencies due to congestion on main sections, as well as to improve the process of distribution of goods and services, especially in areas with high levels of development. Transportation infrastructure development on soft soils often experiences consolidation decline problems. Soft soil has a high moisture content and low bearing capacity. If the soft soil is saturated with water, it means that the water cannot be fully dissipated, causing the soil to take a long time to consolidate. If the construction work does not begin with land improvement, the construction has the potential to suffer damage before the planned age. To anticipate this, an alternative that can be done is to repair the soil with prefabricated vertical drain (PVD) and vacuum preloading. This study aims to determine the degree of consolidation based on the piezometer reading and to make initial predictions. As for the results of this study there is a difference of 5.79% in the degree of assessment from the results of theoretical calculations with the piezometer reading.

Keywords: consolidation, piezometer, vacuum preloading, prefabricated vertical drain (PVD).

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur jalan tol atau jalan bebas hambatan di Indonesia sangat dibutuhkan karena dapat mengurangi inefisiensi akibat kemacetan pada ruas utama, serta untuk meningkatkan proses distribusi barang dan jasa terutama di wilayah yang sudah tinggi tingkat perkembangannya. Pembangunan infrastruktur transportasi pada tanah lunak sering mengalami masalah penurunan konsolidasi. Tanah lunak memiliki kadar air yang tinggi dan daya dukung yang rendah. Jika tanah lunak jenuh air mengakibatkan air tidak dapat terdispasi secara penuh menyebabkan tanah membutuhkan waktu yang lama untuk terkonsolidasi. Apabila pekerjaan konstruksi tidak diawali dengan perbaikan tanah maka konstruksi tersebut berpotensi mengalami kerusakan sebelum umur yang telah direncanakan. Untuk mengantisipasi hal tersebut alternatif yang dapat dilakukan adalah melakukan perbaikan tanah dengan *prefabricated vertical drain (PVD)* dan *vacuum preloading*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar derajat konsolidasi berdasarkan pembacaan *piezometer* serta melakukan prediksi awal. Adapun hasil dari penelitian ini terdapat perbedaan 5,79% derajat konsolidasi dari hasil perhitungan teoritis dengan pembacaan *piezometer*.

Kata kunci: konsolidasi, *piezometer*, *vacuum preloading*, *prefabricated vertical drain (PVD)*.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang mengalami peningkatan ekonomi yang pesat sehingga dibutuhkannya jalur distribusi produk ekonomi. Salah satu distribusi produk ekonomi tersebut dilakukan melalui transportasi darat. Jalan tol merupakan salah satu akses transportasi darat yang semakin berkembang di Indonesia. Jalan tol atau jalan bebas hambatan adalah suatu jalan yang dikhususkan untuk kendaraan bersumbu lebih dari dua (mobil, bus, truk) dan bertujuan untuk mempersingkat jarak dan waktu tempuh dari satu tempat ke tempat lain serta mengurangi kemacetan.

Pembangunan jalan di atas tanah lunak akan menghadapi beberapa masalah geoteknik. Seperti masalah konsolidasi yang cukup besar dan kekuatan daya dukung dalam menahan beban yang terjadi di atasnya. Keadaan

tanah dasar demikian bila tidak ditangani dengan baik akan mempengaruhi kondisi badan jalan di atasnya dan akan mempercepat kerusakan jalan tersebut.

Batasan masalah yang dibahas pada analisis ini adalah:

1. Lokasi penelitian di jalan tol Sumatera.
2. Analisis derajat konsolidasi di lapangan berdasarkan pembacaan *piezometer*.
3. Penurunan yang ditinjau adalah penurunan konsolidasi primer.
4. Tidak memperhitungkan getaran.
5. Tidak memperhitungkan curah hujan.
6. Tidak memperhitungkan konsolidasi arah horizontal.
7. Data yang digunakan adalah hasil tes laboratorium, *Boring log* dan SPT serta hasil *monitoring*.

Rumusan masalah yang dibahas pada analisis ini adalah:

1. Besar derajat konsolidasi tanah berdasarkan pembacaan *piezometer*.
2. Perbandingan derajat konsolidasi berdasarkan *piezometer* dan prediksi awal.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung derajat konsolidasi tanah terjadi akibat berdasarkan pembacaan *piezometer*.
2. Membandingkan perbandingan derajat konsolidasi tanah berdasarkan *piezometer* dan prediksi awal.

Tanah Lunak

Tanah adalah ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap di antara partikel-partikel. Ruang di antara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun yang lainnya. (Hardiyatmo H. C., 1992)

Tanah lunak dalam konstruksi sering kali menjadi permasalahan. Hal ini disebabkan oleh rendahnya daya dukung tanah tersebut. Daya dukung yang rendah dapat menyebabkan kerugian, mulai dari kerugian dari sisi biaya konstruksi yang semakin mahal, hingga terancamnya keselamatan konstruksi, yaitu struktur yang dibuat tidak mampu berdiri secara stabil dan bisa roboh.

Pada kondisi tanah dasar berupa tanah lempung yang sangat lunak dengan kemampuan daya dukung yang relatif terbatas, sering kali dijumpai permasalahan berupa kelongsoran pada tanah dasar pada saat pengaplikasian pra beban, sehingga harus melakukan proses penimbunan secara bertahap sesuai dengan kemampuan daya dukung tanah dan sering kali membutuhkan waktu yang lama. (Andryan Suhendra, 2011)

Penurunan Konsolidasi Tanah

Penurunan konsolidasi adalah penurunan yang terjadi akibat terdisipasinya tegangan air pori dalam tanah dengan *undrained* menuju tanah dengan kondisi *drained*. Konsolidasi sebagai proses keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah, deformasi partikel tanah, serta relokasi partikel yang disebabkan oleh beban tambahan pada tanah. (Das B. M., 1985)

Penambahan beban di atas permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan di bawah mengalami pemampatan. Pemampatan disebabkan adanya keluarnya air dan udara dalam pori, relokasi partikel, dan sebab-sebab lainnya (Hardiyatmo H. , 1994).

Untuk perhitungan penurunan konsolidasi, formula yang digunakan dapat berbeda-beda sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Jika $P_c < P_o$ maka digunakan formula berikut.

$$S_c = \frac{Cc H}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (1)$$

dengan H = ketebalan lapisan tanah yang ditinjau, e_o = *initial void ratio*, Cc = koefisien kompresibilitas, P_o = tegangan efektif tanah pada permukaan lapisan tanah yang ditinjau, Δp = tekanan fondasi netto.

Jika $P_o < P_c < P_o + \Delta p$ maka digunakan formula berikut.

$$S_c = \frac{H}{1+e_o} (Cs \log \frac{P_c}{P_o} + Cc \log \frac{P_o + \Delta p}{P_c}) \quad (2)$$

dengan H = ketebalan lapisan tanah yang ditinjau, e_o = *initial void ratio*, Cs = koefisien rekompresibilitas, P_c = tegangan kompresibilitas, P_o = tegangan efektif tanah pada permukaan lapisan tanah yang ditinjau, Cc = koefisien kompresibilitas, Δp = tekanan fondasi netto.

Jika $P_o + \Delta p < P_c$ maka digunakan formula berikut.

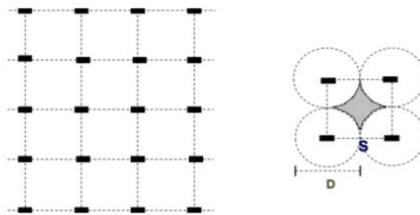
$$S_c = \frac{C_s H}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (3)$$

dengan H = ketebalan lapisan tanah yang ditinjau, e_o = *initial void ratio*, C_s = koefisien rekompresibilitas, P_o = tegangan efektif tanah pada permukaan lapisan tanah yang ditinjau, Δp = tekanan fondasi netto.

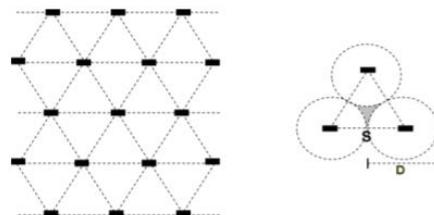
Perencanaan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*

Pemampatan yang dilakukan membutuhkan waktu yang sangat lama, maka dibutuhkan percepatan dalam pemampatan tanah. Salah satu metode perbaikan tanah untuk mempercepat waktu konsolidasi adalah dengan menggunakan *Vertical Drain*. *Vertical drain* dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) tipe umum, yaitu : *sand drain*, *fabric encased drain*, dan *prefabricated vertical drain (PVD)*. Adapun untuk PVD itu sendiri bisa berupa karton, *textile*, plastik, atau material lainnya (bahan karung dan sabut kelapa). Pada umumnya PVD banyak digunakan karena kemudahan pemasangan di lapangan. Tiang-tiang atau lubang-lubang tersebut "dipasang" di dalam tanah pada jarak tertentu sehingga memperpendek jarak aliran drainase air pori (*drainage path*) (Mochtar, 2000)

PVD berperan besar dalam proses konsolidasi. Dengan menggunakan PVD, maka proses konsolidasi dapat berjalan lebih cepat. Metode perbaikan tanah dengan menggunakan *vertical drain* intinya adalah untuk mereduksi waktu antara dua fase pelaksanaan di saat dilakukannya penimbunan bertahap dan mengurangi waktu yang diperlukan untuk memperoleh derajat konsolidasi. Bentuk susunan PVD dapat berupa pola bujur sangkar Gambar 1 dan pola segitiga Gambar 2.



Gambar 1. Pola susunan PVD bujur sangkar (Mochtar, 2000)



Gambar 2. Pola susunan PVD segitiga (Mochtar, 2000)

Untuk pola susunan bujur sangkar:

$$D = 1.13 \times S \quad (4)$$

Untuk pola susunan segitiga:

$$D = 1.05 \times S \quad (5)$$

dengan D = diameter pengaruh satu PVD (m), dan S = *spacing* atau jarak antar PVD

Penentuan Derajat Konsolidasi dengan Menggunakan PVD

Dengan adanya drainase vertikal pada lapisan tanah, maka tegangan pori berlebih akan terdisipasi dalam 2 arah, yaitu arah vertikal dan arah horizontal. Sehingga nilai derajat konsolidasi total (U) dapat dihitung melalui persamaan berikut

$$U = 1 - (1 - U_h)(1 - U_v) \quad (6)$$

dengan U_h = derajat konsolidasi arah vertikal, dan U_v = derajat konsolidasi arah horizontal

Harga derajat konsolidasi horizontal U_h dapat dicari dengan memasukan nilai t (waktu) tertentu dengan persamaan berikut

$$T_h = \frac{c_h \times t}{D^2} \tag{7}$$

$$U_h = 1 - \exp\left(\frac{-8 T_h}{F_n}\right) \tag{8}$$

Harga derajat konsolidasi vertikal U_v dapat dicari dengan masukan nilai t (waktu) tertentu

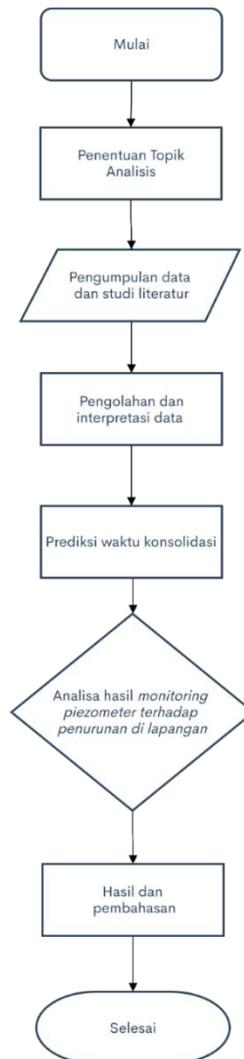
$$T_v = \frac{t \cdot C_v}{(H_{dr})^2} \tag{9}$$

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}}\right) \tag{10}$$

dengan T_h = faktor waktu arah horizontal, dan T_v = faktor waktu arah vertikal.

2. METODE PENELITIAN

Alur atau tahapan dari penelitian ini tertera dalam bentuk diagram pada Gambar



Gambar 3. Diagram bagan alir

Pada penelitian ini seperti terlihat pada gambar 3, dimulai dari penentuan topik analisis, kemudian mengumpulkan data. Pengumpulan data dengan menggunakan data sondir, laboratorium, dan *monitoring*. Apabila data kurang lengkap maka dilakukan korelasi data tanah dengan parameter-parameter yang ada. Berdasarkan data dan parameter tanah yang sudah dimiliki kemudian dilakukan pengolahan dan interpretasi data. Kemudian dilakukan perhitungan untuk memprediksi derajat konsolidasi. Setelah itu membandingkan derajat konsolidasi dari hasil *monitoring piezometer* dengan prediksi awal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Material dan Pemasangan PVD

Vertical drains dipasang pada area dengan rincian pemasangan sebagai berikut:

- Kedalaman pemasangan : 12 m
- Pola pemasangan : persegi
- Lebar *vertical drains* (a) : 100 mm
- Jarak antar PVD (s) : 1 m

Prediksi Awal Penurunan Konsolidasi Total

Prediksi penurunan yang terjadi dihitung berdasarkan *one dimensional settlement*. Konsolidasi tanah adalah *over consolidated* yaitu dimana $\sigma_c' > \sigma_0'$, oleh karena itu besar penurunan dapat dihitung dengan persamaan (1), sehingga dapat prediksi penurunan konsolidasi total tiap zona terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Penurunan Sc

Zona	Penurunan Sc (m)
Zona 1	0,3563
Zona 2	0,3786
Zona 3	0,3686
Zona 4	0,2569
Zona 5	0,3193
Zona 6	0,2947
Zona 7	0,3076

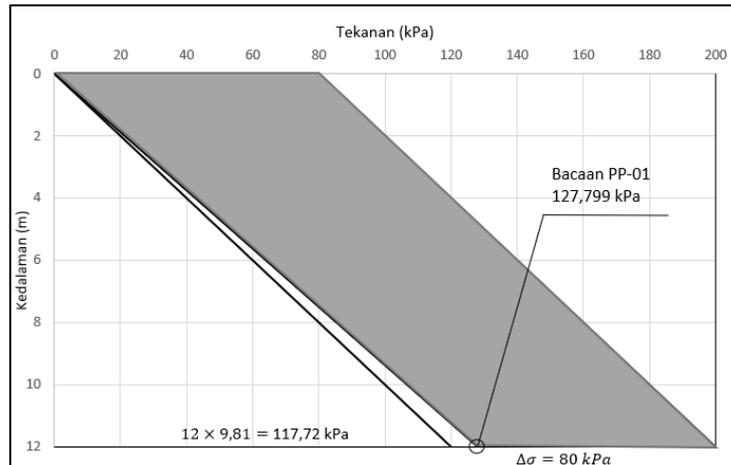
Prediksi Awal Derajat Konsolidasi

Pada saat penimbunan *vacuum*, *vertical drains* telah dipasang oleh karena itu perhitungan derajat konsolidasi sudah menggunakan persamaan-persamaan yang berhubungan dengan dengan *vertical drains*. Dengan jarak pemasangan *vertical drains* satu meter didapat zona pengaruhnya adalah 1,13 meter. *Vertical drains* yang digunakan merupakan jenis yang lebar 0,1 m dengan ketebalan 0,004 m. Dari data yang diketahui dapat dihitung nilai *diameter well* dan faktor jarak *drain* F_n .

Berdasarkan nilai-nilai yang telah diperoleh dari perhitungan di atas, maka dapat dicari pengaruh dari *vertical drains* yaitu faktor dan derajat konsolidasi untuk drainase arah radial horizontal dan vertikal sehingga dapat diketahui derajat konsolidasi yang terjadi pada selang waktu tertentu. Kemudian dilakukan perhitungan derajat konsolidasi saat proses 60 hari dengan asumsi $C_h = 2 C_v$, $C_h = 0,0432 \text{ m}^2/\text{hari}$. Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai derajat konsolidasi saat 60 hari 99,96%.

Penentuan Derajat Konsolidasi Aktual

Derajat konsolidasi juga dapat ditentukan melalui bacaan *piezometer*. Satu *piezometer* diletakkan pada setiap zona. Terdapat 7 zona jadi ada sebanyak 7 pembacaan *piezometer*. Dari bacaan rata-rata *piezometer* PP-01 Gambar 4, dapat dilihat bahwa puncak tegangan air pori berlebih adalah sebesar 127,799 kPa. Lewat bacaan tersebut dapat dihitung derajat konsolidasi yang tercapai setelah pemasangan *piezometer* PP-01 adalah 95,1256%



Gambar 4. Grafik kelebihan tegangan air pori PP-01

Perhitungan juga dilakukan pada PP-02, PP-03, PP-04, PP-05, PP-06, dan PP-07. Terlihat pada tabel 2.

Tabel 2. Derajat konsolidasi berdasarkan pembacaan *piezometer*

Zona	Derajat Konsolidasi (%)
Zona 1	95,1256
Zona 2	94,4619
Zona 3	93,7463
Zona 4	93,8903
Zona 5	94,5894
Zona 6	94,6108
Zona 7	92,7531
Rata-rata	94,1682

Berdasarkan perhitungan teoritis di dapat derajat konsolidasi sebesar 99,96%. Terdapat perbedaan 5,79% derajat konsolidasi dari hasil perhitungan teoritis rata rata dengan pembacaan *piezometer*.

Analisis Balik Parameter Tanah

Perhitungan analisis balik meliputi parameter tanah koefisien tanah horizontal C_h . Dapat diketahui nilai C_h untuk dimasukkan ke dalam persamaan.

Karena U_v itu relatif kecil kontribusinya maka dalam analisis berikut ini kontribusi U_v tidak diperhitungkan. Sehingga di lakukan analisis balik dan mendapat perbandingan C_h/C_v pada tabel 3.

Tabel 3. Analisis balik parameter C_h

Zona	T_h	C_h	C_h/C_v
Zona 1	0,7884	0,0167	0,78
Zona 2	0,7549	0,0160	0,74
Zona 3	0,7232	0,0153	0,71
Zona 4	0,7293	0,0155	0,72
Zona 5	0,7610	0,0162	0,75
Zona 6	0,7620	0,0162	0,75
Zona 7	0,6847	0,0146	0,67

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini, penulis menemukan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanah merupakan tanah *over consolidated* yaitu dimana $P_c' > P_0'$ menggunakan data hasil laboratorium.
2. Berdasarkan perhitungan teoritis diperoleh penurunan sebesar 256,9 mm – 378,6 mm.
3. Pemasangan PVD dengan kedalaman 12 meter, lebar *vertical drain* 100 mm, dan ketebalan *vertical drain* 4 mm. PVD menggunakan pola segi empat dengan jarak 1 meter.
4. Derajat konsolidasi yang didapat dari metode teoritis sebesar 99,96%. Sedangkan pembacaan *piezometer* didapat hasil derajat konsolidasi sebesar 94,17%. Terdapat perbedaan 5,79% derajat konsolidasi dari hasil perhitungan teoritis dengan pembacaan *piezometer*.
5. Karena adanya perbedaan derajat konsolidasi berdasarkan teoritis dan bacaan *piezometer*. Maka dilakukan perhitungan analisis balik, sehingga diperoleh koreksi nilai $C_h = 0,67 C_v - 0,78 C_v$.

Saran

Saran dari analisis yang penulis lakukan adalah sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan dibandingkan dengan metode lain seperti metode asaoka dan program elemen hingga.
2. Sebaiknya menggunakan data tanah hasil uji laboratorium agar hasil analisis lebih tepat daripada menggunakan hasil dari korelasi.
3. Perencanaan perbaikan tanah menggunakan PVD dicoba dengan kedalaman tanah yang berbeda seperti 1/2 atau 2/3 dari kedalaman rencana penulis supaya didapatkan perencanaan PVD yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Suhendra,A dan Irsyam,M. “Studi Aplikasi Vacuum Preloading sbagai Metode Alternatif Percepatan Proses Konsolidasi pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air: Trial GVS pada Perumahan Pantai Indah Kapuk, Jakarta.” *ComTech Vol.2* (2011).
- Das, Braja M. (translated by Mochtar N.E, and Mochtar I.B.). *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Jakarta: Erlangga, 1985.
- Hardiyatmo, H.C. *Mekanika Tanah 2*. Jakarta: P.T. Gramedia Pustaka Utama, 1994.
- Hardiyatmo, Hary Christady, and Prihminto Widodo. *Mekanika Tanah*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 1992.
- Mochtar, Indrasurya B. *Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan pada Tanah Bermasalah*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS, 2000.

