



Analisis Perbaikan Tanah Lunak dengan Kombinasi *Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* pada Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung, Sumatera Selatan ¹

Soil Improvement using Combination Preloading and Prefabricated Vertical Drain Method at Pematang Panggang – Kayu Agung Toll Road Construction, South Sumatera

Paksitya Purnama Putra ^{a,2}, Wiwik Yunarni Widiarti ^a, Eka Patriyandi Oktavian ^b

^a Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

^b Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung, Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatra Selatan, dibangun diatas tanah dasar lempung lunak. Perbaikan tanah dilakukan dengan menggunakan metode *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) untuk mempercepat penurunan yang terjadi. Lama waktu konsolidasi dengan dan tidak dipasangnya PVD & PHD akan dibandingkan, serta akan diukur evektifitas pola pemasangan PVD yang optimal pada lokasi tersebut. Dari hasil studi, didapatkan pola pemasangan PVD yang optimal dengan pola bujur sangkar dengan jarak 0,8 m. Pola pemasangan ini dapat mempercepat penurunan dari 130 tahun menjadi 19 minggu. Tinggi timbunan total, Hinisial, yang perlu dilaksanakan adalah 11 meter. Timbunan dilaksanakan dengan dua tahapan, tahapan pertama dilaksanakan setinggi 4 meter ($H_{cr} = 4,375m$) dengan masa tunggu konsolidasi 8 minggu. Perubahan kohesi *undrained* (Cu) terjadi selama masa tunggu tersebut. Oleh karena itu, nilai H_{cr} meningkat menjadi 13,526 m. Kemudian, tahapan penimbunan kedua baru dapat dilakukan hingga setinggi Hinisial.

Kata kunci: perbaikan tanah lunak, preloading, prefabricated vertical drain, prefabricated horizontal drain

ABSTRACT

The Pematang Panggang - Kayu Agung Toll Road, Ogan Komering Ilir Regency, South Sumatra, was built on soft clay soil. Soil improvement is carried out using the *Preloading*, *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), and *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD) methods to accelerate the consolidation. The duration of consolidation with and without PVD & PHD installation are compared, and the effectiveness of the optimal PVD installation pattern is measured at that location. The study results found that the optimal PVD installation pattern is a square pattern with a distance of 0.8 m. This fitting pattern can accelerate the decline from 130 years to 19 weeks. The total stockpile height, $H_{inisial}$, that needs to be implemented is 11 meters. The preloading is carried out in two stages. The first stage is carried out at the height of 4 meters ($H_{cr} = 4,375m$) with a consolidation waiting period of 8 weeks. Undrained Cohesion (Cu) changes occur during this waiting period. Therefore, the H_{cr} value increases to 13.526 m. Afterward, the second stage can be carried out up to as high as $H_{inisial}$.

Keywords: soft soil improvement, preloading, prefabricated vertical drain, prefabricated horizontal drain

¹ Info Artikel: Received: 22 Juli 2019, Accepted: 28 Agustus 2020.

² Corresponding Author: paksitya.putra@unej.ac.id (P.P. Putra)

PENDAHULUAN

Tanah lunak seringkali menjadi permasalahan dalam sebuah pekerjaan konstruksi bangunan, salah satunya pada pembangunan jalan tol. Untuk memperbaiki sifat tanah lunak dapat dicapai dengan beberapa macam cara perbaikan tanah diantaranya melakukan pemadatan pada tanah, penyesuaian gradasi, percepatan konsolidasi, dan lain-lain. Metode perbaikan tanah dengan cara melakukan konsolidasi adalah *Preloading*, dan *Vacuum Consolidation System*. Kedua metode tersebut biasanya dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*. PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi tanah lunak, sehingga perbaikan tanah dapat diselesaikan secara cepat.

Pada studi ini, dilakukan analisis perbaikan tanah lunak pada proyek pembangunan Jalan tol Pematang Panggang – Kayu Agung, tepatnya pada seksi 4 di STA 179+900. Perbaikan tanah lunak dilakukan dengan metode preloading dengan kombinasi PVD dan PHD.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Sumber Data

Data pada studi ini adalah berupa data Sekunder yang diperoleh dari PT. Teknindo Geosistem Unggul. Data sekunder tersebut berupa data penyelidikan tanah lapangan & laboratorium diantaranya Indeks properties tanah, Parameter Konsolidasi, *Boring dan Standar Penetration Test (SPT)*, spesifikasi bahan PVD & PHD.

Perencanaan Preloading & Analisis waktu inisial konsolidasi

Metode pembebanan awal (Preloading) ialah metode penimbunan beban yang sama dengan beban konstruksi yang akan dilaksanakan (Lestari, 2018). Beban lalu-lintas, beban pavement, tinggi konsolidasi, dan tinggi H-bongkar merupakan beban yang akan dikonversi menjadi beban preloading. Analisis waktu inisial konsolidasi dimaksudkan untuk mengetahui lamanya waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses konsolidasi dengan beban preloading yang ditentukan. Waktu inisial konsolidasi yang ditemukan nantinya akan menjadi penentu perlu atau tidaknya penggunaan PVD.

Perencanaan PVD

Prefabricated Vertical Drain (PVD) digunakan untuk mempercepat waktu penurunan primer/konsolidasi (Hausmann, 1990). Tanah lempung lunak memiliki pori-pori yang sangat kecil. Dengan kondisi normal, kecepatan aliran tanah lunak hanya bisa mencapai kurang dari 10^{-7} mm/detik (Das, 1995). Fungsi dari PVD adalah untuk mengatasi permasalahan lamanya waktu penurunan yang terjadi pada tanah lempung lunak. Pola pemasangan PVD (segitiga dan segi empat) juga akan mempengaruhi optimalisasi penggunaannya yang dikaitkan dengan jangka waktu pelaksanaan proyek. Selain itu, semakin dekat jarak pemasangan PVD juga akan mempercepat waktu konsolidasi. Oleh karena itu, perencanaan secara optimal perlu dilakukan menyesuaikan dengan waktu pelaksanaan proyek yang tersedia.

Perencanaan Penimbunan Bertahap dan Peningkatan Daya Dukung Tanah

Tinggi beban preloading yang telah ditentukan nantinya perlu disesuaikan dengan tinggi beban yang mampu diterima oleh tanah dasar yakni H kritis atau H_c (Hidayati, 2008).

Apabila tinggi preloading melebihi H_{cr} , maka timbunan setelah H_{cr} perlu dilaksanakan secara bertahap. Dalam studi ini penimbunan bertahap dilaksanakan dengan asumsi kecepatan 50 cm/minggu. Peningkatan daya dukung tanah yang merupakan perubahan kohesi undrain (C_u) sebagai akibat adanya masa tunggu pembebanan (telah terjadi konsolidasi) juga akan diperhitungkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

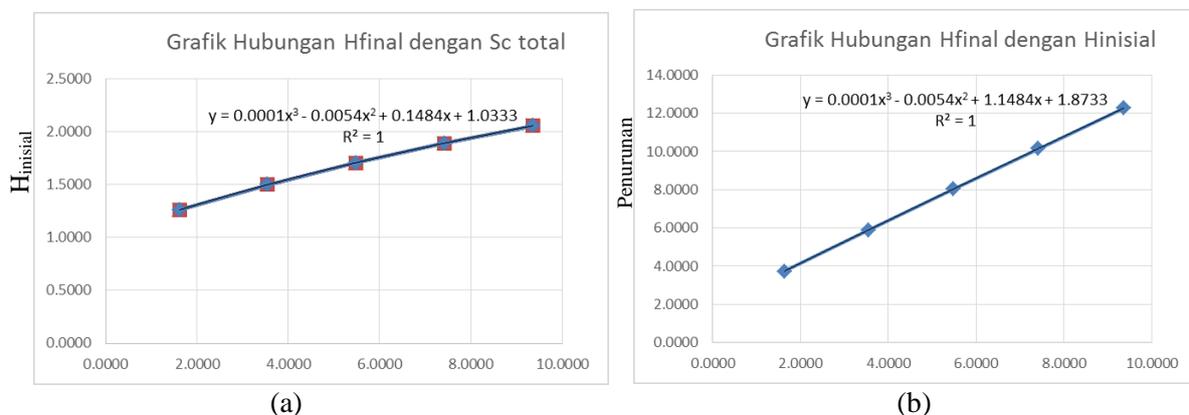
Analisis Perhitungan Tinggi Timbunan Awal ($H_{inisial}$), Tinggi Timbunan Akhir (H_{akhir}) dan Penurunan Total (S_c)

Hasil perhitungan $H_{inisial}$, H_{akhir} , dan S_c selengkapnya dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Perhitungan $H_{inisial}$, $H_{perkerasan}$, H_{final} , dan S_c total

H timbunan m	q t/m ²	S_c timbunan m	Gamma timb t/m ³	Gamma w t/m ³	$H_{inisial}$ m	H lalulintas m	Tebal Perkerasan m	S_c Beban Perkerasan m	H_{final} m	S_c Total m
3	4.8	1.1745	1.6	1.0	3.7341	1.6	0.76	0.0871	1.6324	1.2617
5	8	1.4284	1.6	1.0	5.8928	1.6	0.76	0.0698	3.5545	1.4982
7	11.2	1.6458	1.6	1.0	8.0286	1.6	0.76	0.0594	5.4834	1.7053
9	14.4	1.8369	1.6	1.0	10.1481	1.6	0.76	0.0522	7.4189	1.8891
11	17.6	2.0076	1.6	1.0	12.2547	1.6	0.76	0.0468	9.3604	2.0544

Berdasarkan tabel 1, dapat diketahui bahwa semakin besar nilai $H_{inisial}$ maka H_{akhir} , dan S_c akan selaras meningkat. Semakin besar beban maka jangkauan penyebaran tegangan juga akan membesar. Hal ini akan mempengaruhi besarnya konsolidasi karena semakin dalam penyebaran tegangan maka semakin banyak air pori yang akan terpengaruh oleh beban tersebut. Kemudian, dibuat grafik hubungan $H_{inisial}$, H_{akhir} , dan S_c pada gambar 1 untuk mengetahui besar $H_{inisial}$ dan S_c dengan H_{akhir} yang dibutuhkan.



Gambar 1. Grafik hubungan antara H_{final} dan (a) $H_{inisial}$, (b) S_c Total

Berdasarkan data perencanaan, pada lokasi proyek dibutuhkan H_{akhir} sebesar 8,96 meter, dengan persamaan garis yang didapatkan grafik pada gambar 1, maka nilai $H_{inisial}$, dan S_c didapatkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} H_{\text{inisial}} &= 0,0001x^3 - 0,0054x^2 + 1,1484x + 1,8733 \\ &= 0,0001(8,96)^3 - 0,0054(8,96)^2 + 1,1484(8,96) + 1,8733 \\ &= 10,895 \text{ meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{c total}} &= 0,0001x^3 - 0,0054x^2 + 0,1484x + 1,0333 \\ &= 0,0001(8,96)^3 - 0,0054(8,96)^2 + 1,1484(8,96) + 1,0333 \\ &= 1,935 \text{ meter} \end{aligned}$$

Analisis Waktu Konsolidasi Inisial

Perhitungan waktu konsolidasi dimaksudkan untuk mengetahui lama waktu penurunan secara inisial. Data parameter tanah ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Data perhitungan waktu konsolidasi

Hi	H (m)	z (m)	Gamma sat	E	Cv (cm ² /det)	CC	Cs	Cv rata-rata (cm ² /det)
2	2	1	1.772	1.400	0.00085	0.473	0.095	
4	2	3	2.145	1.069	0.00061	0.532	0.106	
6	2	5	2.145	1.069	0.00061	0.532	0.106	
8	2	7	2.145	1.069	0.00061	0.532	0.106	0.000404
10	2	9	2.155	1.259	0.00033	0.680	0.136	
12	2	11	2.155	1.259	0.00033	0.680	0.136	
14	2	13	2.155	1.259	0.00033	0.680	0.136	

Karena nilai Cv pada setiap lapisan berbeda, maka untuk mendapatkan harga penurunan tanah keseluruhan lapisan digunakan Cv rata-rata. Lama waktu pemampatan tanah secara alami dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} C_{V\text{rata-rata}} &= 0,000404 \text{ cm}^2/\text{det} = 1,27538 \text{ m}^2/\text{thn} \\ S_c &= 1,935 \text{ meter} \\ T &= 0,848 \text{ (U 90\%)} \\ t &= \frac{T_{90\%} \times H_{dr}^2}{C_{V\text{gabungan}}} = \frac{0,848 \times 14^2}{1,27538} \\ &= 130.32 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Dikarenakan waktu penurunan/pemampatan yang lama yaitu 130 tahun, maka pada tanah dasar proyek tersebut diperlukan percepatan waktu konsolidasi dengan PVD.

Analisis Prefabricated Vertical Drain (PVD)

Pola pemasangan PVD dengan bentuk segitiga dan segiempat dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal yang disesuaikan dengan waktu pelaksanaan proyek. Jarak pemasangan PVD ditentukan bervariasi diantaranya 0,8 m; 1,00 m; 1,25 m; 1,5 m; dan 1,75 m. Lamanya waktu konsolidasi dihubungkan dengan besarnya derajat konsolidasi pada setiap pola dan jarak PVD yang ditunjukkan pada grafik di gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara \bar{U} dengan waktu derajat konsolidasi pada pemasangan pola (a) Segitiga dan (b) Segiempat

Berdasarkan gambar 2, dapat diketahui variasi hasil dari penentuan pola PVD, jarak, dengan derajat konsolidasi. Semakin kecil jarak PVD maka semakin cepat waktu penurunan untuk mendekati derajat konsolidasi 90%. Hasil waktu konsolidasi pada derajat konsolidasi 90% pada setiap pola pemasangan PVD ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil waktu konsolidasi pada derajat konsolidasi 90% pada setiap Pola Pemasangan PVD

Spasi	Pola Segitiga	Pola Segiempat
0,8	16 Minggu	19 Minggu
1	27 Minggu	32 Minggu
1,25	44 Minggu	52 Minggu
1,75	94 Minggu	111 Minggu

Maka dari beberapa alternatif pilihan pola pemasangan PVD tersebut yang dapat dipilih adalah pola pemasangan segiempat dengan spasi 0,8 m. Karena pelaksanaan pemasangan yang mudah serta waktu yang masih cukup dari batas waktu 6 bulan.

Analisis Penimbunan Bertahap

Penimbunan bertahap dilaksanakan dengan asumsi kecepatan penimbunan 50cm/minggu. Dengan H_{inisial} 11 m maka jumlah tahapan penimbunan adalah 22 tahapan penimbunan. Karena tinggi timbunan kritis yang mampu diterima (H_{cr}) adalah 4.375 m maka tahapan 1 penimbunan dilakukan sampai ketinggian 4 m.

Dengan timbunan bertahap yang dilakukan hingga 4 m, penurunan yang terjadi ialah 1,0735 m sehingga timbunan yang tersisa 2,9265 m. Kemudian dilanjutkan untuk tahapan selanjutnya yaitu tahapan penimbunan kedua. Nilai H_{cr} yang didapat setelah menghitung nilai C_u baru adalah 13,526 m. jadi dengan nilai H_{cr} tersebut pentahapan timbunan selanjutnya dapat dilakukan hingga H_{inisial} yang telah didapatkan diawal.

Pada tahapan kedua, penimbunan dilakukan bertahap sampai dengan H_{inisial} . Penurunan yang terjadi pada tahap kedua adalah 1,6634 m dengan sisa timbunan 5,3366 m Total tinggi

timbunan yang sudah termampatkan yaitu 8,2631 m. jadi untuk mencapai H_{final} tahap penimbunan selanjutnya dilakukan hingga mencapai 8.69 m.

PENTUTUP

Kesimpulan yang didapatkan dari analisis hasil antara lain sebagai berikut:

1. Pola pemasangan PVD paling optimal menyesuaikan batas waktu proyek adalah dengan pola pemasangan segiempat dengan jarak 0,8 meter. Pola pemasangan ini dapat mempercepat waktu konsolidasi dari 130 tahun menjadi 19 minggu.
2. Dengan H_{akhir} sebesar 8,69 meter dibutuhkan $H_{inisial}$ sebesar 11 meter. Penimbunan dilaksanakan dengan dua tahapan. Tahap pertama dilaksanakan penimbunan setinggi 4 meter (pemadatan per 50cm) yang dapat dilaksanakan secara terus menerus karena masih berada dibawah H_{cr} . Tahap kedua dilaksanakan pada minggu ke-8, dimana telah terjadi peningkatan C_u (kohesi Undrained). Pada tahap kedua didapatkan nilai H_{cr} sebesar 13,526 m, sehingga pada tahap kedua dapat dilaksanakan penimbunan hingga batas $H_{inisial}$.

Perlu diadakan studi perbandingan alternatif perbaikan tanah dasar selain *Preloading* dan PVD seperti dengan *Vacuum Consolidation System*.

REFERENCES

- Das, Braja M. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. ed 2, Jakarta: Erlangga, 1995.
- Hausmann, Manfred R. 1990. *Engineering Principles of Ground Modification*. McGraw-Hill, 1990.
- Hidayati, Anissa Maria dkk. 2008. "Kombinasi Preloading dan Penggunaan Pre-Fabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin)". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 12, No. 2, Juli 2008.
- Lestari, Mariati Indah, dkk. 2018. "Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa Dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus : Jalan Toll Manado-Bitung)". *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol.8, No.2, 1078-1091.