



Penerapan Soil Preloading, PVD, dan PHD untuk Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah

¹ Citra Kusuma Andini, ^{2,*} Yelvi, ³ Azmi Lisani Wahyu, ⁴ Handi Sudardja, ⁵ Merley Misriani

^{1,2,4}Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 16425, Indonesia

³ PT. Teknindo Geosistem Unggul, Surabaya, 60291, Indonesia

⁵Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, 28293, Indonesia

Corresponding Author: *yelvi@sipil.pnj.ac.id

Abstract

Soft clay has a low bearing capacity, high compressibility and low permeability. This condition causes soft clay soil to have a long settlement time. To overcome this soft soil condition, soil improvement methods are needed. One of the efforts is to use a combination of soil preloading methods, Prefabricated Vertical Drain (PVD), and Prefabricated Horizontal Drain (PHD) methods. Calculating soil settlement with soil improvement is carried out using the Asaoka method, which is a field observation method, and the theoretical method using the Terzaghi method. Based on the calculation results of field observations using the Asaoka method, the average degree of soil settlement is 93.5%. The calculation results of the Asaoka method are recalculated using a back calculation to produce a new parameter value, namely the horizontal consolidation (C_h) value, which is then compared with the C_h value in the previous plan. In the Terzaghi method, the average soil settlement value is 1.205 meters. The results of soil settlement value are used to analyze the height of the embankment based on the load ratio requirement in SNI 8460: 2017, where the load ratio on the ground is ≥ 1.3 times the planned load under service conditions. Based on the monitoring results, a load ratio value of 0.875 was obtained so that the SNI requirements carried out a re-planning of the landfill. Then, proceed with the design of PVD and PHD. The results obtained in planning use triangular PVD patterns with a distance between PVDs of 1 meter.

Keywords: load ratio, Asaoka method, terzaghi method, soil improvements, soft soil

Abstrak

Lempung lunak merupakan jenis tanah yang memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah, serta kompresibilitas yang tinggi. Hal ini menyebabkan lempung lunak mempunyai waktu penurunan yang lama. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan melakukan perbaikan tanah. Salah satu upaya yang dilakukan dengan mengkombinasikan metode soil preloading, metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dan *Prefabricated Horizontal Drain* (PHD). Perhitungan penurunan tanah dilakukan dengan dua metode, yaitu metode Asaoka dan metode Terzaghi. Berdasarkan data observasi di lapangan dengan menggunakan metode Asaoka didapat rata-rata derajat penurunan tanah sebesar 93,5%. Selanjutnya, hasil perhitungan menggunakan metode Asaoka diubah kembali dengan *back calculation* sehingga didapatkan nilai konsolidasi horizontal (C_h) yang baru. Kemudian nilai tersebut dibandingkan dengan nilai C_h pada perencanaan sebelumnya. Pada metode Terzaghi di dapat nilai rata-rata penurunan tanah sebesar 1,205 meter. Nilai penurunan tanah digunakan untuk menganalisis tinggi timbunan berdasarkan syarat *load ratio* dalam SNI 8460:2017. *Load ratio* pada tanah $\geq 1,3$ kali beban yang direncanakan pada kondisi layan. Namun, berdasarkan pemantauan, *load ratio* yang ditemukan hanya sekitar 0,875, sehingga memerlukan perencanaan ulang untuk memenuhi persyaratan SNI. Langkah selanjutnya adalah merancang sistem PVD dan PHD. Hasil dari perencanaan adalah penggunaan pola segitiga PVD dengan jarak antar PVD sekitar 1 meter.

Kata kunci: *load ratio*, metode asaoka, metode terzaghi, perbaikan tanah, tanah lunak

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

1. Pendahuluan

Tanah lunak memiliki daya dukung rendah dan tingkat kompresibilitas yang tinggi sehingga seringkali timbul masalah pada kestabilan dan konsolidasi pada tanah. Selain itu, nilai permeabilitas tanah lunak cenderung rendah, sehingga memperlambat terjadinya penurunan tanah [1]. Untuk mengatasi kondisi tanah lunak ini, maka dilakukan perbaikan tanah, salah satunya adalah dengan menggunakan kombinasi antara metode *soil preloading* dengan PVD. Selama proses stabilisasi pada tanah dapat dilakukan prediksi besarnya penurunan tanah yang akan terjadi dengan metode observasi lapangan [2]. Setelah besaran penurunan diketahui, perlu adanya tinjauan terhadap rasio pembebanan (*load ratio*) sebagaimana disebutkan dalam SNI 8460 Tahun 2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik bahwa *load ratio* pada pra pembebanan harus bernilai lebih besar atau sama dengan 1,3 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan [3].

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jaka Permadi, nilai *load ratio* yang didapat digunakan untuk perencanaan preloading dan membandingkan hasil perhitungan manual dengan pengamatan lapangan [4]. Penelitian mengenai *load ratio* juga dilakukan oleh Isah Bela Mulyawati untuk mencari pengaruh nilai *load ratio* terhadap stabilitas dan deformasi lateral pada sistem *vacuum preloading* [5]. Penelitian juga dilakukan oleh Henky Adi Berliano, digunakan nilai *load ratio* untuk menghitung rencana pembebanan, menganalisa penurunan tanah, serta merencanakan perbaikan tanah [6].

Pada Proyek Jalan Akses Trisakti – Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000 yang dibangun pada tahun 2017, perencanaannya masih mengacu pada literatur – literatur dan Pedoman Bina Marga, sehingga belum diketahui nilai *load ratio* pada perencanaan perbaikan tanah. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap data instrument geoteknik sehingga diketahui nilai *load ratio* dan dilakukan perencanaan ulang perbaikan tanah lunak yang menggunakan *load ratio* sesuai dengan syarat SNI 8460:2017. Kemudian direncanakan kembali perbaikan tanah untuk mempercepat penurunan konsolidasi dengan menggunakan *soil preloading*, PVD dan PHD.

Analisis pada penelitian ini akan menghitung prediksi penurunan konsolidasi tanah berdasarkan hasil monitoring *settlement plate* menggunakan metode Asaoka, lalu dilakukan analisis *back calculation* untuk mencari nilai C_h asli lapangan [7]. Analisis nilai *load ratio* pada prapembebanan berdasarkan hasil monitoring *settlement plate* yang kemudian disesuaikan dengan syarat SNI 8460:2017. Menganalisis penurunan konsolidasi tanah menggunakan metode Terzaghi berdasarkan hasil interpretasi tanah dasar. Kemudian dilakukan perencanaan ulang percepatan penurunan tanah menggunakan PVD berdasarkan hasil *back calculation*.

Konsolidasi Tanah

Penurunan tanah merupakan peristiwa berkurangnya volume tanah akibat adanya beban yang bekerja pada permukaan tanah [8]. Bila tanah mengalami pembebanan dan

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

kemudian berkonsolidasi, maka penurunan tersebut berlangsung dalam 3 fase [9], yaitu:

1. Fase awal, yaitu fase dimana penurunan terjadi segera setelah beban bekerja.
2. Fase konsolidasi primer, merupakan fase penurunan yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran air yang keluar dari rongga pori tanah akibat adanya tekanan tambahan.
3. Fase konsolidasi sekunder, merupakan fase penurunan lanjutan dari fase sebelumnya, dimana proses ini berlangsung lebih lambat.

Berdasarkan tegangan yang terjadi pada lapisan tanah yang mengalami penurunan, maka terdapat dua jenis penurunan konsolidasi primer. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung konsolidasi primer [10]:

1. Terkonsolidasi secara normal (*normally consolidated*)

$$\frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \quad (1)$$

2. Terkonsolidasi secara berlebih (*overconsolidated*)

- a. Apabila $(p_o + \Delta p) \leq p_c$:

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

- b. Apabila $(p_o + \Delta p) > p_c$:

$$S_c = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_c}{p_o} \right) + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_c} \right) \quad (3)$$

dengan S_c merupakan penurunan akibat konsolidasi pada lapisan tanah, H merupakan tebal lapisan tanah (m), e_0 merupakan angka pori awal pada lapisan tanah, C_c merupakan indeks kompresi, C_s merupakan indeks pemuaian, p_o merupakan tegangan efektif overburden, p_c merupakan tegangan prakonsolidasi dan Δp merupakan penambahan tegangan.

Load Ratio pada *Preloading*

Load ratio merupakan perbandingan antara beban *preloading* dengan beban layan. Pada SNI 8460:2017, disebutkan bahwa beban total pada prapembebanan berupa tanah timbunan yang diaplikasikan ke tanah asli harus lebih besar atau sama dengan 1,3 kali beban yang direncanakan pada kondisi layan bila efek gaya angkat (*buoyancy effect*) yang diterima beban timbunan pada saat proses prapembebanan berlangsung tidak diperhitungkan.

Untuk menghitung load ratio pada tanah, dapat digunakan persamaan sederhana berikut ini [11]:

Load ratio =

$$\frac{\text{Timbunan Tanah+Preloading}}{\text{Timbunan Tanah+Perkerasan+Lalu Lintas}} \quad (4)$$

Perencanaan Tinggi Timbunan

Pada pelaksanaan penimbunan, tinggi timbunan awal tidak sama dengan tinggi timbunan rencana. Dalam penentuan tinggi timbunan rencana perlu diperhatikan besaran pemampatan yang terjadi pada tanah asli. Persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi timbunan awal dan akhir adalah [12]:

$$H_{awal} = \frac{q_{akhir} + S_c}{\gamma_{sat.timbunan}} \quad (5)$$

$$H_{akhir} = H_{awal} - S_c \quad (6)$$

dengan H_{awal} merupakan tinggi timbunan awal, H_{akhir} merupakan tinggi timbunan akhir, S_c merupakan penurunan pada tanah, q_{akhir} merupakan beban timbunan.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

Prefabricated Vertical Drain (PVD)

PVD merupakan tiang – tiang vertikal yang dipasang pada jarak dan pola tertentu ke dalam tanah untuk mempermudah pengaliran air pada tanah. PVD terdiri dari 2 bagian, yaitu inti yang berfungsi untuk mempermudah pengaliran air pori dan filter yang berfungsi untuk menyaring material agar tidak bercampur dengan air pori. Pada pemasangan PVD terbagi menjadi dua pola, yaitu pola segitiga dan pola segi empat [13]. Untuk menentukan waktu konsolidasi akhir akibat PVD dapat digunakan persamaan berikut [14].

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \times Ch} \right) F(n) \times \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (7)$$

dengan t merupakan waktu untuk menyelesaikan konsolidasi primer, D merupakan diameter ekuivalen, Ch merupakan koefisien konsolidasi arah horizontal, dan $F(n)$ merupakan faktor hambatan yang disebabkan karena jarak antar PVD.

Prefabricated Horizontal Drain (PHD)

PHD merupakan lembaran tipis memanjang yang berguna untuk mengalirkan air secara horizontal dan digunakan untuk mengalirkan air pori dari PVD. PHD sendiri terdiri dari inti yang diselubungi oleh geotextile non woven. Untuk menggunakan PHD perlu disesuaikan dengan debit maksimum aliran air yang dapat dihitung dengan persamaan berikut:

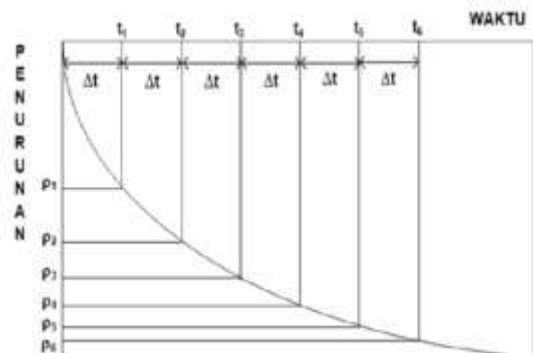
$$Q = N \times q \quad (8)$$

dengan Q merupakan debit maksimum aliran air horizontal, N merupakan jumlah titik PVD dan q merupakan debit setiap 1 titik PVD.

Metode Asaoka

Metode Asaoka merupakan metode observasi lapangan yang sering digunakan untuk mengetahui konsolidasi satu arah, karena selain dapat diketahui besaran penurunan akhir, metode ini juga dapat memperoleh parameter – parameter yang lebih akurat. Metode Asaoka merupakan suatu alat bantu untuk memprediksi penurunan tanah dengan menggunakan *curve fitting* [2].

Pengukuran data penurunan tanah di lapangan dilakukan dengan menggunakan instrumen geoteknik, salah satunya adalah *settlement plate*. Untuk dapat memperoleh nilai penurunan $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_n$ pada tanah dengan interval waktu Δt yang konstan, maka data – data penurunan harus dipilih. Nilai penurunan akhir dengan interval waktu ini dapat dilihat pada gambar 1.

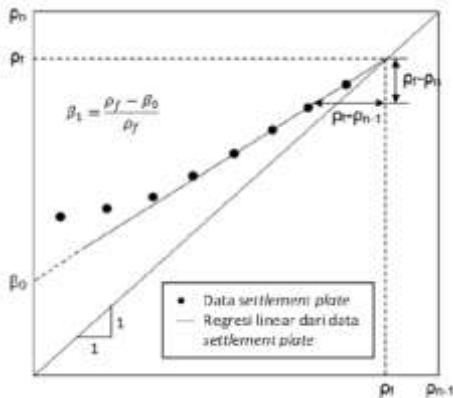


Gambar 1. Grafik Penurunan Dengan Interval Waktu yang Konstan
 (Sumber: Akira Asaoka, 1978)

Kemudian nilai ρ_n yang berada pada sumbu y dan nilai ρ_{n-1} yang berada pada sumbu x diplot sehingga diperoleh titik – titik yang membentuk pola garis lurus. Titik pertemuan antara garis $\rho_n = \rho_{n-1}$ yang bersudut 45° merupakan penurunan akhir (ρ_f) dengan treadline ρ_n vs ρ_{n-1} .

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023



Gambar 2. Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka
 (Sumber: Akira Asaoka, 1978)

2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Poyek Jalan Akses Pelabuhan Trisakti (Pelabuhan Trisakti – Liang Anggang) STA 0+000 s/d STA 3+000, Banjarmasin, Kalimantan Selatan. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proyek Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang
 STA 0+000 s/d STA 3+000
 (Sumber: PT Teknindo Geosistem Unggul)

2.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian yang dilakukan dalam Analisis Penurunan Konsolidasi Tanah Menggunakan *Soil Preloading*, PVD dan PHD yakni dengan melakukan studi literatur. Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan

referensi – referensi terkait penurunan konsolidasi tanah lunak dan perbaikan tanah lunak. Selanjutnya dilakukan tahap pengumpulan data berupa pengumpulan data sekunder yang diperoleh dengan melakukan permohonan pengambilan data kepada instansi yang terlibat. Data yang diperoleh berupa data tanah dasar, gambar perancangan, data pembebanan dan data monitoring *settlement plate*.

Setelah dilakukan pengumpulan data, maka dilanjutkan dengan tahapan analisis data yang dilakukan dengan menghitung prediksi penurunan konsolidasi tanah dengan metode Asaoka. Kemudian melakukan analisis *back calculation* untuk mencari nilai koefisien konsolidasi horizontal (Ch), dengan menggunakan rumus:

$$\frac{\pi^2 C_v}{8 H^2} + \frac{8 Ch}{d^2 F(n)} = - \frac{\ln \beta}{\delta t} \quad (9)$$

Dilakukan perhitungan load ratio berdasarkan hasil monitoring *settlement plate* dengan membandingkan nilai improvement load yang terdiri dari terdiri dari beban yang dihasilkan oleh timbunan tambahan dengan operational load yang terdiri dari beban akibat perkerasan dan beban akibat lalu lintas. Lalu dilakukan interpretasi data tanah dasar dan menganalisis data beban rencana. Setelah didapat nilai Ch asli lapangan, nilai load ratio, data beban rencana dan interpretasi tanah dasar, dilakukan perencanaan tinggi timbunan berdasarkan nilai load ratio sesuai dengan persyaratan SNI 8460:2017, dimana nilai improvement load yang terdiri dari tanah timbunan subgrade dibandingkan dengan nilai operational load yang terdiri dari beban akibat perkerasan,

Informasi Artikel

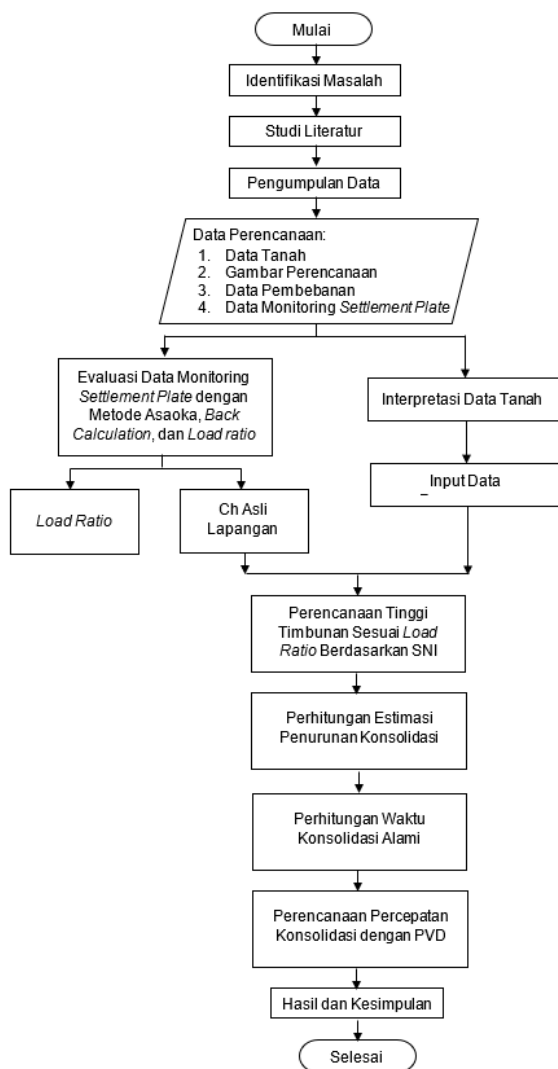
Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

beban akibat lalu lintas dan nilai penurunan tanah.

Perhitungan dilanjutkan dengan menganalisis penurunan konsolidasi, waktu penurunan serta derajat konsolidasi menggunakan metode Terzaghi. Lalu dilakukan perencanaan percepatan konsolidasi dengan PVD dengan menggunakan rumus 7.

2.3. Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir penelitian ini sebagai berikut.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian
 (Sumber: Olahan Pribadi, 2023)

3. Hasil dan Pembahasan

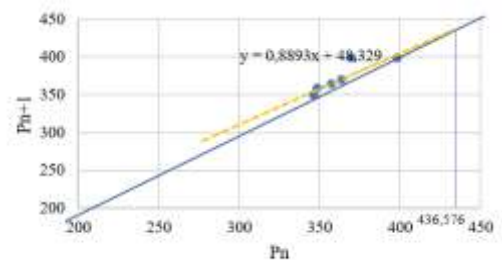
3.1. Analisis Prediksi Penurunan Konsolidasi Akhir Menggunakan Metode Asaoka

Perhitungan prediksi penurunan konsolidasi akhir dilakukan berdasarkan data hasil monitoring *settlement plate* yang dipasang di lokasi analisis. Diambil contoh data *settlement plate* pada STA 0+025 yang dimulai pada hari ke-139 dengan menggunakan interval waktu 5 hari. Data yang digunakan dalam prediksi metode Asaoka beserta grafik prediksi dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 5 dibawah ini.

Tabel 1. Besaran Penurunan Hari ke-n (P_n) dan Penurunan Hari ke-n+1 (P_{n+1}) Proyek Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+025

STA 0+025		
Hari Ke-	P_n	P_{n+1}
139	347	349
144	349	358
149	358	364
154	364	370
159	370	399
164	399	399
169	399	399

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)



Gambar 5. Grafik Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka Pada Proyek Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+025

(Sumber: Olahan Pribadi, 2023)

Pada gambar grafik di atas, ditunjukkan penurunan akhir pada STA 0+025 yang didapat dari perpotongan garis linier yang terbentuk dari

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

data P_n dan P_{n+1} dengan garis linier 45° . Perpotongan garis linier 45° dengan garis hasil regresi linier dari data P_n dan P_{n+1} digunakan untuk mencari nilai x . Hasil persamaan yang didapat dari regresi linier tersebut adalah $y = x$ dan $y = 0,8893x + 48,329$. Nilai x dapat dicari dengan persamaan penyelesaian fungsi linier. Didapat hasil penurunan akhir sebesar 436,576 mm. Hasil penurunan akhir berdasarkan metode Asaoka dibandingkan dengan nilai penurunan akhir berdasarkan hasil monitoring sehingga didapat nilai derajat konsolidasi sebesar 91,4%. Berikut ini merupakan tabel rekapitulasi penurunan akhir berdasarkan metode asaoka.

Tabel 2. Rekapitulasi Prediksi Penurunan Akhir dengan Metode Asaoka pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000

Titik SP STA	P_n (mm)	x (mm)	U
0+025	399	436,576	91,4%
0+075	615	664,960	92,5%
0+125	598	633,109	94,5%
0+225	435	482,295	90,2%
0+325	278	295,490	94,1%
0+425	436	477,793	91,3%
0+475	693	746,138	92,9%
0+525	738	818,551	90,2%
0+625	482	514,578	93,7%
0+675	689	712,415	96,7%
0+725	780	840,800	92,8%
0+825	532	540,667	98,4%
0+925	503	547,918	91,8%
0+975	1017	1048,757	97,0%
1+025	795	842,6269	94,3%
1+075	1143	1230,093	92,9%
1+125	849	891,4769	95,2%
2+925	554	611,1704	90,6%
2+975	700	722,7691	96,8%

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

3.2. Analisis Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (Ch) Berdasarkan Prediksi Asaoka dengan *Back Calculation*

Perhitungan nilai Ch dilakukan dengan menggunakan persamaan 9 dan besaran nilai β

didapatkan dari grafik Asaoka. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil nilai Ch.

Tabel 3. Rekapitulasi Nilai Ch pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000

Titik SP STA	Cv (m ² /s)	Ch (m ² /s)
0+025	$4,48 \times 10^{-8}$	$9,6 \times 10^{-8}$
0+075	$4,48 \times 10^{-8}$	$7,4 \times 10^{-8}$
0+125	$4,48 \times 10^{-8}$	$6,7 \times 10^{-8}$
0+225	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-8}$
0+325	$4,48 \times 10^{-8}$	$1,6 \times 10^{-7}$
0+425	$4,48 \times 10^{-8}$	$6,2 \times 10^{-8}$
0+475	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,9 \times 10^{-8}$
0+525	$4,48 \times 10^{-8}$	$4,6 \times 10^{-8}$
0+625	$4,48 \times 10^{-8}$	$7,5 \times 10^{-8}$
0+675	$4,48 \times 10^{-8}$	$1,0 \times 10^{-7}$
0+725	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-8}$
0+825	$4,48 \times 10^{-8}$	$1,7 \times 10^{-7}$
0+925	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,8 \times 10^{-8}$
0+975	$4,48 \times 10^{-8}$	$7,4 \times 10^{-8}$
1+025	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,7 \times 10^{-8}$
1+075	$4,48 \times 10^{-8}$	$4,5 \times 10^{-8}$
1+125	$4,48 \times 10^{-8}$	$5,5 \times 10^{-8}$
2+925	$4,48 \times 10^{-8}$	$4,9 \times 10^{-8}$
2+975	$4,48 \times 10^{-8}$	$9,4 \times 10^{-8}$

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Berdasarkan hasil nilai Ch pada tabel di atas, didapatkan nilai Ch rata – rata sebesar $7,62 \times 10^{-8}$. Dimana nilai Ch rata – rata ini bila dibuat persamaan menjadi $Ch = 1,7 Cv$. Pada perencanaan sebelumnya nilai Ch yang digunakan merupakan $2 \times Cv$ sehingga waktu konsolidasi 90% yang terjadi pada tanah menjadi lebih lama dari perencanaan.

3.3. Analisis *Load Ratio* Timbunan Tanah Berdasarkan Hasil Monitoring

Perhitungan load ratio pada pelaksanaan berdasarkan data settlement plate dilakukan dengan membandingkan improvement load yang berasal dari timbunan settlement plate dengan operational load yang berasal dari beban akibat perkerasan dan beban akibat lalu lintas yang didapat berdasarkan Panduan

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

Geoteknik 4 [15]. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. Hasil Analisis Load Ratio Pelaksanaan pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000

STA	Improvement Load (t/m ²)	Operational Load (t/m ²)	Load Ratio
0+025	3,397	3,315	1,025
0+075	3,491	3,675	0,950
0+125	2,502	3,699	0,677
0+225	4,717	3,705	1,273
0+325	1,331	3,092	0,430
0+425	3,862	3,571	1,082
0+475	2,667	3,897	0,684
0+525	3,261	4,155	0,785
0+625	3,858	3,710	1,040
0+675	4,074	3,823	1,066
0+725	2,934	4,121	0,712
0+825	3,896	3,750	1,039
0+925	2,784	4,127	0,675
0+975	4,213	4,958	0,850
1+025	5,435	4,540	1,197
1+075	2,995	4,974	0,602
1+125	3,178	4,622	0,688
2+925	3,062	3,713	0,825
2+975	4,734	4,602	1,029

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Berdasarkan tabel hasil analisis di atas, didapat nilai rata – rata load ratio sebesar 0,875, dimana nilai ini tidak memenuhi syarat load ratio $\geq 1,3$. Ketidaksesuaian nilai load ratio terhadap syarat SNI 8460:2017 dapat menyebabkan adanya penurunan tambahan pada tanah, sehingga dilakukan perencanaan ulang dengan menggunakan perhitungan teoritis.

3.4. Analisis Penurunan Konsolidasi Akhir Menggunakan Metode Terzaghi

Perhitungan penurunan konsolidasi akhir serta waktu dan derajat konsolidasi dilakukan berdasarkan hasil interpretasi tanah dasar. Perhitungan diawali dengan mengasumsikan nilai tegangan vertikal efektif. Asumsi ini sebagai angka awal untuk mengetahui tinggi

timbunan awal dan tinggi timbunan akhir yang kemudian digunakan untuk mencari tinggi timbunan setiap STA. Hasil analisis penurunan konsolidasi dapat dilihat pada lembar lampiran.

Dari perhitungan penurunan konsolidasi dapat dihitung tinggi timbunan tanah awal dan akhir, kemudian direkapitulasi serta dibuat grafik linier hubungan antara tinggi timbunan awal dan akhir. Hasil persamaan yang didapat dari grafik digunakan untuk menghitung tinggi timbunan dan estimasi penurunan tanah pada setiap STA. Berikut merupakan hasil perhitungan timbunan tanah dan estimasi penurunan tanah.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tinggi Timbunan dan Estimasi Penurunan Tanah

STA	Tinggi Timbunan Akhir (m)	Tinggi Timbunan Awal (m)	Estimasi Penurunan Tanah (m)
0+025	2,491	3,544	1,053
0+075	2,505	3,567	1,062
0+125	2,555	3,647	1,091
0+225	2,818	4,062	1,244
0+325	2,462	3,498	1,036
0+425	2,685	3,851	1,167
0+475	2,601	3,719	1,118
0+525	2,784	4,008	1,224
0+625	2,748	3,952	1,203
0+675	2,534	3,613	1,079
0+725	2,684	3,850	1,166
0+825	2,709	3,890	1,181
0+925	3,124	4,541	1,417
0+975	3,133	4,555	1,422
1+025	3,071	4,458	1,387
1+075	2,951	4,271	1,320
1+125	3,067	4,452	1,385
2+925	2,638	3,778	1,140
2+975	3,280	4,783	1,503

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

3.5. Analisis Load Ratio Berdasarkan Perhitungan Teoritis

Perhitungan *load ratio* berdasarkan perhitungan teoritis dilakukan dengan membandingkan *improvement load* yang berasal dari tanah

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

timbunan subgrade, *preload* dan estimasi penurunan tanah dengan *operational load* yang berasal dari nilai penurunan tanah, beban akibat perkerasan, dan beban akibat lalu lintas. Berikut ini merupakan tabel hasil analisis *load ratio* berdasarkan perhitungan teoritis.

Tabel 6. Hasil Analisis Load Ratio pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Trisakti – Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000

STA	Improve ment Load	Operati onal Load	Load Ratio
0+025	3,544	2,726	1,300
0+075	3,567	2,744	1,300
0+125	3,647	2,805	1,300
0+225	4,062	3,124	1,300
0+325	3,498	2,691	1,300
0+425	3,851	2,962	1,300
0+475	3,719	2,861	1,300
0+525	4,008	3,083	1,300
0+625	3,952	3,040	1,300
0+675	3,613	2,779	1,300
0+725	3,850	2,961	1,300
0+825	3,890	2,993	1,300
0+925	4,541	3,493	1,300
0+975	4,555	3,504	1,300
1+025	4,458	3,429	1,300
1+075	4,271	3,285	1,300
1+125	4,452	3,424	1,300
2+925	3,778	2,906	1,300
2+975	4,783	3,679	1,300

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Berdasarkan hasil analisis dalam tabel 6, didapat nilai rata – rata load ratio sebesar 1,3 dengan adanya penimbunan tambahan dengan rata – rata timbunan tambahan sebesar 0,92 meter, dimana nilai ini telah memenuhi syarat SNI 8460:2017 dimana nilai load ratio sebesar $\geq 1,3$.

3.6. Analisis Waktu dan Derajat Konsolidasi Hasil Perbaikan Tanah

Setelah diketahui nilai penurunan tanah, maka dapat dicari waktu penurunan konsolidasi tanpa perbaikan tanah dengan menggunakan variasi

faktor waktu, sehingga didapat waktu penurunan konsolidasi saat 90% selama 116 tahun. Berikut merupakan tabel hasil perhitungan waktu penurunan konsolidasi secara alami.

Tabel 7. Waktu Penurunan Konsolidasi 90% Tanpa Perbaikan Tanah

Tahun	Tv	a	Uv
0	0,0000	1,9089	0%
10	0,0776	1,8257	8%
20	0,1552	1,7426	16%
30	0,2328	1,6594	23%
40	0,3104	1,5762	31%
50	0,3880	1,4931	39%
60	0,4656	1,4099	47%
70	0,5431	1,3268	54%
80	0,6207	1,2436	62%
90	0,6983	1,1604	70%
100	0,7759	1,0773	78%
110	0,8535	0,9941	85%
116	0,9001	0,9442	90%
120	0,9311	0,9109	93%

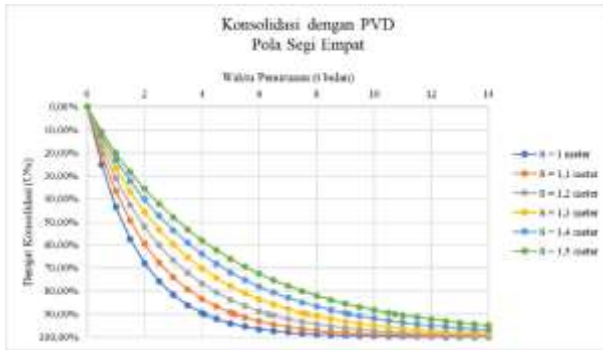
(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Analisis Prefabricated Vertical Drain (PVD)

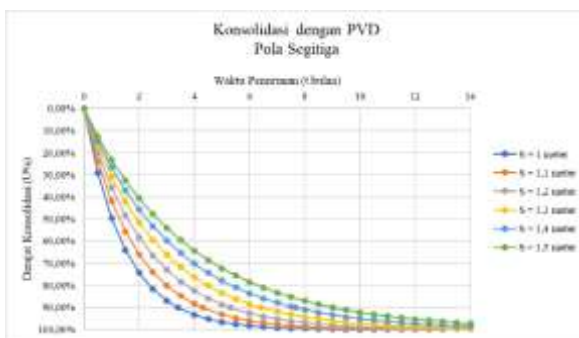
Analisis penurunan konsolidasi dengan PVD dilakukan dengan dua pola, yaitu pola segi empat dan pola segitiga, serta dilakukan variasi jarak antar PVD (S), yaitu 1 m, 1,1 m, 1,2 m, 1,3 m, 1,4 m, dan 1,5 m. Setelah didapat waktu penurunan tanah dan derajat konsolidasi pada penggunaan PVD pola segi empat dan pola segitiga, dibuat grafik hubungan antara waktu penurunan tanah dengan derajat konsolidasi sebagaimana terlihat pada gambar 6 dan gambar 7 di bawah ini.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023



Gambar 6. Hubungan Waktu Penurunan dengan Derajat Konsolidasi pada PVD Pola Segiempat
(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)



Gambar 7. Hubungan Waktu Penurunan dengan Derajat Konsolidasi pada PVD Pola Segitiga
(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Berdasarkan hasil yang didapat dari perhitungan, diambil pola pemasangan segitiga dengan jarak antar PVD 1 meter selama 3,4 bulan, sebab pada pola segi empat dengan jarak yang sama menghasilkan waktu yang lebih lama, yaitu 4,1 bulan.

Analisis Prefabricated Horizontal Drain (PHD)

Perhitungan PHD yang dilakukan merupakan perhitungan debit maksimum aliran air horizontal. Debit maksimum aliran air didapat dari debit total dikalikan dengan jumlah titik PVD. Dikarenakan lebar 1 lajur kendaraan sebesar 7,75 meter, maka titik PVD yang

terpasang sebanyak 8 titik. Dari data lebar lajur dan titik PVD dapat dihitung:

$$D \text{ air maks} = 8 \text{ titik} \times D_{\text{total}}$$

$$D \text{ air maks} = 8 \times 3,61 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ air maks} = 2,89 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$D \text{ air maks} = 0,0029 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil debit maksimum aliran air horizontal yang didapat adalah $0,0029 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, bila disesuaikan dengan tabel kapasitas pengaliran debit air maksimum pada produk PHD yang digunakan, pada tekanan 300 kPa besaran nilai debit air maksimum adalah sebesar $3,77 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$, maka debit air maksimum yang didapat memenuhi syarat.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang dilakukan pada Proyek Jalan Akses Trisakti – Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000, didapatkan nilai rata – rata derajat penurunan konsolidasi sebesar 93,5% berdasarkan metode Asaoka. Dari analisis *back calculation* diperoleh nilai C_h asli lapangan sebesar $7,62 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ atau $C_h = 1,7 \times C_v$. Berdasarkan hasil monitoring, didapat nilai rata – rata load ratio sebesar 0,875, kemudian direncanakan ulang tinggi timbunan tanah sehingga didapat nilai load ratio 1,3 sehingga telah memenuhi syarat SNI 8460:2017. Pada perencanaan PVD didapat waktu penurunan konsolidasi dengan pola pemasangan segitiga dan jarak antar PVD 1 meter selama 3,4 bulan. Dari kebutuhan PVD yang direncanakan, didapatkan nilai debit aliran air maksimum PHD sebesar $0,0029 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023

Daftar Rujukan

[1] M. Eng. D. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.

[2] Akira Asaoka, "Observational Procedure of Settlement Prediction," in *Soils and Foundations*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1978.

[3] "SNI 8460:2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik." Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, 2017.

[4] Jaka Permadi, "Perbandingan Permodelan dan Data Lapangan Penurunan Tanah Pada Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Pre-Loading Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Pekanbaru - Dumai STA 2+800 dan STA 3+200," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2018.

[5] Isah Bela Mulyawati, "Pengaruh Nilai Load Ratio Terhadap Stabilitas dan Deformasi Lateral Pada Sistem Vacuum Preloading." Universitas Pendidikan Indonesia, 2021.

[6] Henky Adi Berliano, "Kajian Teknis Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Kombinasi Vacuum dan Preloading dengan PVD dan PHD Pada Area Container Yard Pelabuhan Terminal Kijing Kalimantan Barat," *Jurnal Dosen dan Mahasiswa Universitas Tanjung Pura*, 2020.

[7] Farah Nasya, "Penentuan Harga Ch Lapangan dari Hasil Test Trial Embankment dan Implementasinya Untuk Prediksi Pemampatan Di Lapangan Dengan Metode Konvensional, Elemen Hingga dan Asaoka," Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2017.

[8] Braja M. Das, Ph. D. Ir. Noor Endah Mochtar M. Sc., and Ph. D. Ir. Indrasurya B. Mochtar M. Sc., *Mekanika Tanah (Prinsip - Prinsip Rekayasa Geoteknik) Jilid I*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995.

[9] M. Eng. D. Dr. Ir. Hary Christady Hardiyatmo, *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2002.

[10] Karl Terzaghi, Ralph B. Peck, and Gholamreza Mesri, *Soil Mechanics In Engineering Practice*, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., 1996.

[11] S. T. , M. T. Azmi Lisani Wahyu, "Perbaikan Tanah Lunak Dengan Menggunakan Metode Preloading dan PVD." PT. Teknindo Geosistem Unggul, 2023.

[12] I. Ir. Wahyu P. Kuswanda, "Metoda Percepatan Konsolidasi dengan Metoda Preloading dan PVD." PT Teknindo Geosistem Unggul, 2022.

[13] "Desain dan Konstruksi Pita Drain Vertikal Prefabrikasi (PDVP)." Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004.

[14] "Perancangan Perbaikan Tanah Lunak Dengan Soil Preloading dan PVD." PT Teknindo Geosistem Unggul, Surabaya, 2022.

[15] "Panduan Geoteknik 4 : Desain dan Konstruksi." Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002.

LAMPIRAN

Tabel 8. Hasil Penurunan Konsolidasi pada Proyek Pembangunan Jalan Akses Trisakti - Liang Anggang STA 0+000 s/d STA 3+000 dengan Metode Terzaghi

Kedalaman	H	Cc	Cs	e ₀	γ (t/m ³)	P ₀ ' (t/m ²)	P _c ' (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	OCR	Sc (m)
0 - 5	5	0,802	0,160	2,148	1,413	1,032	6,250	4,9	6,059	0,194
5 - 10	5	0,792	0,158	1,717	1,530	3,389	5,389	4,1	1,590	0,560
10 - 14	4	1,073	0,215	2,110	1,472	5,658	7,180	3,3	1,269	0,304
14 - 18	4	1,450	0,290	2,384	1,462	7,524	9,870	2,6	1,312	0,261
18 - 23	5	0,446	0,089	1,167	1,756	10,338	14,347	2,4	1,388	0,019
23 - 27	4	0,696	0,139	1,509	1,429	13,086	15,660	1,7	1,197	0,012

(Sumber: Analisis Pribadi, 2023)

Informasi Artikel

Diterima Redaksi: 25-08-2023 | Selesai Revisi: 05-10-2023 | Diterbitkan Online: 28-10-2023