

## PERBANDINGAN PENURUNAN KONSOLIDASI METODE TERZAGHI DENGAN ASAOKA PADA *VACUUM PRELOADING*

Fina Mayumi Boangmanalu<sup>1</sup>, Istiatun<sup>2\*</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. DR. G. A. Siwabessy, Kampus Universitas Indonesia, Depok, Indonesia, 16425.

e-mail: [finamayumi5@gmail.com](mailto:finamayumi5@gmail.com)<sup>1</sup>, [istiatun@sipil.pnj.ac.id](mailto:istiatun@sipil.pnj.ac.id)<sup>2\*</sup>

### ABSTRACT

*Around 20 million hectares of Indonesia's total land area, or more than 10%, has soft soil. Soft soils can be problematic in construction projects due to their low bearing capacity, high water content, limited permeability, and high compressibility. Vacuum preloading, a technique to hasten consolidation by employing atmospheric pressure from the vacuum as a surcharge load, is one of the improvements for soft soil. The Terzaghi method is typically used to calculate the prediction of the final settlement and the time to reach the final settlement, however the forecast of settlement by the Terzaghi method produces better results than the actual settlement. To estimate the final settlement that takes place in the field, a method with a reliable level of accuracy is used—the Asaoka method. The main goals of this analysis are to determine the final settlement using the Asaoka method, the time needed to reach the final settlement using the Asaoka method, the degree of consolidation caused by vacuum preloading, and soil parameters that support notable differences between the Terzaghi method and Asaoka method using back analysis. According to both site reviews, the Terzaghi method produced settlement outcomes that were 36% and 79% higher than those obtained using the Asaoka method. The time required to reach 90% consolidation on both site reviews are 252 days and 196 days. The results of the Asaoka method used to calculate the degree of consolidation on both site reviews are 92.33% and 94.47%. The value of compression index (Cc), which was derived by back analysis calculations, is what most strongly supports the significant outcomes between the Terzaghi method and the Asaoka method.*

**Keywords:** *Asaoka method, Terzaghi method, Soft soil, Vacuum preloading.*

### ABSTRAK

*Luas daratan di Indonesia sekitar 20 juta hektar atau lebih dari 10% merupakan tanah lunak. Tanah lunak memiliki daya dukung rendah, kadar air tinggi, permeabilitas rendah serta kompresibilitas yang besar sehingga dapat menimbulkan permasalahan dalam proyek konstruksi. Salah satu perbaikan tanah lunak menggunakan vacuum preloading, yaitu suatu metode untuk mempercepat proses konsolidasi dengan menggunakan tekanan atmosfer dari vakum sebagai beban tambah (surcharge load). Untuk menghitung prediksi besarnya penurunan dan lama waktu konsolidasi umumnya menggunakan metode Terzaghi, namun prediksi penurunan metode Terzaghi memberikan hasil yang lebih besar daripada penurunan aktual. Maka digunakan metode Asaoka, yaitu metode yang digunakan untuk memprediksi penurunan akhir (final settlement) yang terjadi di lapangan dan memiliki tingkat akurasi yang dapat diandalkan. Tujuan utama dalam analisis ini adalah mengetahui besarnya penurunan akhir menggunakan metode Asaoka, menentukan waktu yang dibutuhkan dalam mencapai besarnya penurunan akhir dengan metode Asaoka, mengetahui besaran derajat konsolidasi yang tercapai akibat vacuum preloading dan menentukan parameter tanah yang mendukung perbedaan hasil yang signifikan antara metode Terzaghi dengan metode Asaoka menggunakan Back Analysis. Didapatkan persentase perbandingan hasil penurunan metode Terzaghi lebih besar daripada metode Asaoka pada kedua tinjauan lokasi yaitu sebesar 36% dan 79%. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsolidasi 90% pada kedua tinjauan lokasi yaitu 252 hari dan 196 hari. Hasil perhitungan Derajat konsolidasi dengan metode Asaoka pada kedua tinjauan lokasi yaitu sebesar 92,33% dan 94,47%. Perhitungan Back Analysis menghasilkan parameter tanah yang paling mendukung perbedaan hasil yang signifikan antara metode Terzaghi dengan metode Asaoka yaitu nilai indeks pemampatan (Cc).*

**Kata kunci:** *Metode Asaoka, Metode Terzaghi, Tanah lunak, Vacuum preloading.*

## PENDAHULUAN

Wilayah daratan di Indonesia memiliki lebih dari 10% atau sekitar 20 juta hektar tanah dengan kondisi lunak, dimana terdiri dari tanah gambut (*peat soil*) dan tanah lempung lunak (*soft soil*) [1]. Kondisi seperti ini menjadi permasalahan terkait pengembangan prasarana karena kemungkinan besar infrastruktur harus dibangun pada daerah-daerah yang kondisi lapisan tanah dasarnya berupa tanah lunak. Seperti yang diketahui bahwa tanah lunak memiliki plastisitas, kembang susut, kandungan air, dan kompresibilitas yang tinggi tetapi memiliki daya dukung dan permeabilitas yang rendah menyebabkan tanah mengalami penurunan besar dalam waktu yang sangat lama [2]. Sehingga infrastruktur yang dibangun diatas tanah lunak mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan, baik pada saat proses konstruksi maupun sampai pada saat masa pelayanan. Untuk menangani kondisi tanah lunak, maka saat proses perencanaan atau sebelum kegiatan konstruksi dimulai diperlukan perbaikan tanah dasar untuk mengurangi terjadinya penurunan (*settlement*) yang dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur konstruksi dimasa pelayanan [3].

*Vacuum preloading* merupakan salah satu alternatif untuk memperbaiki tanah lunak. Dalam perencanaan perbaikan tanah dengan *Vacuum Preloading*, untuk memprediksi besarnya penurunan serta lama waktu konsolidasi umumnya digunakan metode konsolidasi 1 (satu) dimensi Terzaghi [4]. Akan tetapi dalam banyaknya kasus, estimasi penurunan konsolidasi dengan metode Terzaghi memberikan hasil yang lebih besar daripada penurunan aktual yang terjadi di lapangan. Untuk itu dalam memprediksi penurunan aktual tanah dapat juga digunakan metode Asaoka, yaitu suatu metode observasi di lapangan

dengan menggunakan data penurunan dari *settlement plate* tanpa membutuhkan parameter-parameter yang umumnya digunakan dalam perhitungan penurunan konsolidasi [5]. Selanjutnya penggunaan metode *Back Analysis* juga biasa dilakukan untuk mendapatkan parameter tanah baru untuk melengkapi data laboratorium [6].

Pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing Seksi 2 STA 8+300 – 8+600, metode perbaikan perbaikan tanah yang dilakukan adalah metode *Vacuum Preloading*. Pekerjaan perbaikan tanah dengan metode *Vacuum Preloading* sedang dalam masa konstruksi, dimana terdapat instrumen geoteknik *settlement plate* untuk melakukan *monitor* penurunan konsolidasi yang terjadi. Maka diperlukan perhitungan penurunan konsolidasi akhir (*final settlement*) di lapangan dengan metode Asaoka untuk mengevaluasi perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode Terzaghi dan memprediksi penurunan akhir (*final settlement*) di lapangan.

Analisis dalam studi ini akan membandingkan besarnya penurunan konsolidasi, waktu penurunan konsolidasi dan derajat konsolidasi metode Terzaghi dan metode Asaoka serta menganalisis parameter tanah baru yang dihasilkan dari metode *Back Analysis* untuk dapat memperkirakan parameter tanah mana yang mendukung perbedaan yang signifikan antara hasil prediksi metode Terzaghi dengan metode Asaoka. Maka, diharapkan hasil parameter tanah baru dapat dijadikan referensi dalam perencanaan perbaikan tanah lunak dengan kondisi tanah serupa untuk memprediksi besarnya penurunan dan waktu konsolidasi.

### Kemampumampatan Tanah

Pemampatan pada lapisan tanah dasar diakibatkan oleh proses penambahan beban diatas permukaan tanah. Pemampatan ini diakibatkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, keluarnya air atau udara dari dalam pori tanah, dan jugag sebab lainnya. Secara umum, penurunan (settlement) pada tanah oleh penambahan beban pada permukaan tanah terdiri dari [7]:

1. Penurunan segera (*immediate settlement*), yaitu perubahan bentuk tanah (deformasi) elastis pada tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air dalam pori-pori tanah dan didasarkan pada teori elastisitas.
2. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yaitu perubahan volume tanah kondisi jenuh air yang disebabkan keluarnya air dalam pori-pori tanah.

### Metode Terzaghi

Dalam memprediksi penurunan dan waktu konsolidasi, penggunaan teori konsolidasi 1 (satu) dimensi Terzaghi sudah sangat lazim karena dianggap dapat menjelaskan secara baik mengenai penurunan yang disebabkan oleh kompresi dan drainase satu dimensi [8].

Pemampatan konsolidasi primer disebabkan oleh proses keluarnya air dan udara dalam pori-pori tanah yang disebabkan beban luar yang bekerja terhadap waktu. Besar pemampatan konsolidasi primer pada lapisan tanah lunak yang memiliki ketebalan sebesar H, dapat dihitung menggunakan rumus berikut [7].

1. Kondisi tanah yang terkonsolidasi normal (NC)

$$S_c = \frac{C_c \times H}{1 + e_0} \log \left( \frac{p_0 + \Delta P}{p_0} \right)$$

2. Kondisi tanah yang lebih (OC)  
Apabila  $(p_0' + \Delta p) \leq p_c'$

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_0} \left[ H \log \left( \frac{p_0 + \Delta P}{p_0} \right) \right]$$

Apabila  $(p_0' + \Delta p) > p_c'$

$$S_c = \frac{C_s}{1 + e_0} H \log \frac{p_c}{p_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log \left( \frac{p_0 + \Delta P}{p_c} \right)$$

Dengan  $S_c$  = besar pemampatan konsolidasi,  $C_c$  = indeks pemampatan tanah,  $C_s$  = indeks pemuai tanah,  $H$  = tebal lapisan tanah,  $p_0'$  = tekanan overburden efektif,  $p_c'$  = tekanan prakonsolidasi dan  $\Delta p$  = tambahan tegangan.

### Metode Asaoka

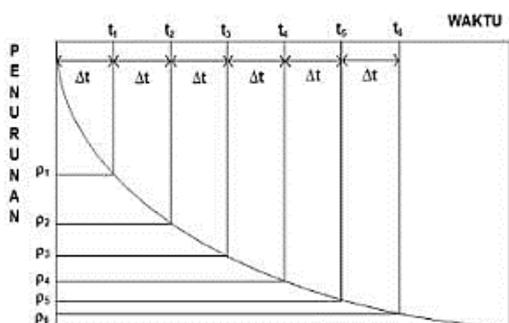
Metode Asaoka merupakan salah satu metode yang biasa digunakan untuk memprediksi besarnya penurunan akhir dan derajat konsolidasi pada lapisan tanah. Keuntungan dari metode ini yaitu kemudahannya dalam penggunaan grafiknya. Analisis dengan metode Asaoka menggunakan data penurunan hasil monitoring settlement plate untuk dilakukan pemeriksaan Kembali terhadap hasil perhitungan desain. Penurunan tanah pada interval waktu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut [11].

$$S_n = \beta_0 + \beta_1 \cdot S_{n-1}$$

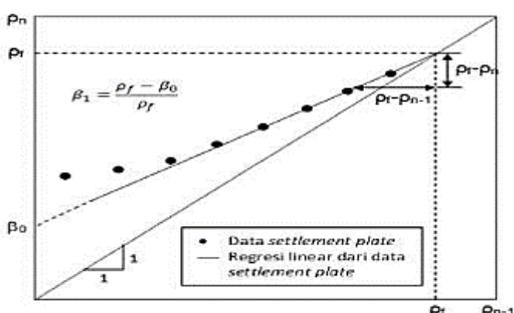
Dimana  $S_1, S_2, \dots, S_3$  adalah hasil monitoring penurunan tanah dalam satuan waktu  $t_n$ . Untuk menganalisis penurunan konsolidasi akhir dengan menggunakan metode Asaoka dapat ditentukan saat garis  $S_n$  vs  $S_{n+1}$  berpotongan dengan garis  $45^\circ$  atau yang berarti  $S_n = S_{n+1}$ .

Tahapan untuk menganalisis metode Asaoka dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

$$S_{ult} = \frac{\beta_0}{1 - \beta_1}$$



**Gambar 1.** Prosedur analisis data monitoring penurunan dengan interval waktu yang konstan  
Sumber: Asaoka (1978)



**Gambar 2.** Prediksi Penurunan Akhir Dengan Metode Asaoka  
Sumber: Asaoka (1978)

### Prefabricated Vertical Drain (PVD)

*Prefabricated Vertical Drain* (PVD) pada umumnya terbuat dari bahan geotekstil atau turunan produk geotekstil. Material PVD sendiri tidak memiliki fungsi sebagai perkuatan tanah dikarenakan kuat tarik jangka panjang bukan menjadi parameter yang penting [10].

*Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dibutuhkan untuk mempercepat waktu penurunan konsolidasi apabila waktu untuk mencapai proses penurunan konsolidasi terlalu lama. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) memiliki fungsi untuk memperpendek jalur keluarnya air dari dalam tanah. ada 2 pola pemasangan yang umumnya digunakan yaitu pola

pemasangan segitiga dan pola pemasangan segiempat [11].

Dalam menentukan waktu konsolidasi akibat *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), factor jarak dan koefisien konsolidasi yang digunakan adalah arah horizontal, dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

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

dengan  $t$  = waktu konsolidasi,  $D$  = zona pengaruh PVD,  $Ch$  = koefisien konsolidasi untuk aliran horizontal,  $F_n$  = Faktor jarak drain,  $d$  = Diameter ekivalen dari PVD.

### Vacuum Preloading

Pada prinsipnya, metode *Vacuum Preloading* adalah penggunaan pompa vakum sebagai pengganti beban timbunan (*preloading*) dan juga berfungsi untuk memompa keluar air dan pori didalam tanah melalui pipa horizontal yang sudah terhubung dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) [12].

*Vacuum preloading* merupakan salah satu alternatif perbaikan tanah lempung lunak dengan kondisi jenuh air dimana memiliki kadar air yang tinggi dan membutuhkan waktu yang relatif lama untuk mencapai penurunan konsolidasi dengan cara mempercepat proses konsolidasi [13].

keuntungan dari perbaikan tanah menggunakan metode vakum dikombinasikan dengan PVD yaitu sebagai pengganti tinggi timbunan dan gerakan lateral tanah dapat direduksi sehingga masalah ketidakstabilan dapat dikurangi. pengaplikasian dari perbaikan tanah ini juga sering dibilang lebih ekonomis [14].

### Instrumen Geoteknik

Dalam pelaksanaan perbaikan tanah untuk mencapai efektivitas yang tinggi diperlukan adanya evaluasi terhadap kinerja perbaikan tanah yang ditinjau di lapangan yaitu dengan melihat bacaan pada instrument geoteknik yang berada di lapangan [15]. Evaluasi pada umumnya dengan memonitor besarnya penurunan aktual yang telah dicapai di lapangan, maka diperlukan pemasangan instrument geoteknik. Adapun intrumen geoteknik yang bisa digunakan terdiri dari [6]:

1. *Settlement plate* digunakan untuk mengukur penurunan yang telah terjadi di permukaan tanah;
2. *Piezometer* digunakan untuk mengamati tegangan air pori yang telah terdisipasi;
3. *Inclinometer* digunakan untuk mendeteksi ada tidaknya deformasi ke arah lateral.

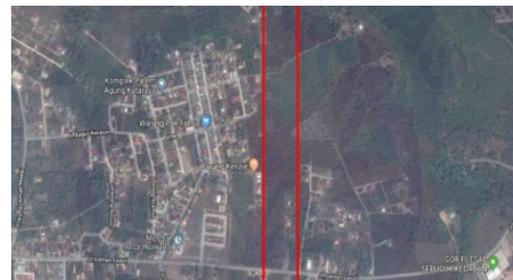
### METODE PENELITIAN

Dalam studi ini akan meninjau dua lokasi yaitu lokasi proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing pada STA 8+300 – 8+600 dan lokasi pembanding pada proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung pada STA 179+850 – 180+025, dikarenakan pada kedua lokasi tersebut memiliki kesamaan dalam hal metode perbaikan tanah lunak dengan menggunakan *Vacuum Preloading*. Lokasi tinjauan kedua lokasi dapat dilihat pada **Gambar 3** dan **Gambar 4**.



**Gambar 3.** Proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing pada STA 8+300 – 8+600

Sumber: Data Sekunder PT. Cibitung Tanjung Priok Port Tollways



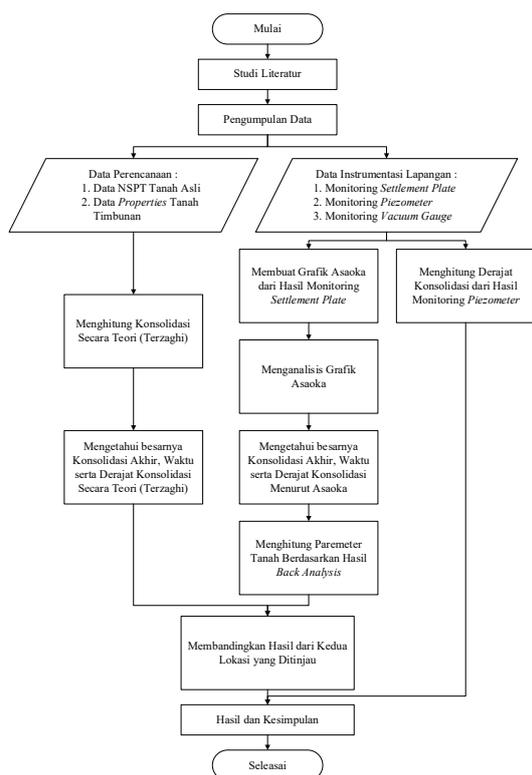
**Gambar 4.** Proyek Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung STA 179+850 – 180+025

Sumber: Skripsi Angga Bramasta Wardana, (2019)

### Pengumpulan Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder dari PT. Cibitung Tanjung Priok Port Tollways selaku *owner*. Data yang diperoleh meliputi data tanah borlog, data *properties* tanah timbunan, shop drawing, spesifikasi material PVD serta data hasil bacaan *monitoring* di lapangan dan untuk lokasi pembanding pada analisis ini menggunakan data tanah serta data hasil bacaan *monitoring* di lapangan bersumber dari skripsi Angga Bramasta Wardana, 2019.

### Bagan Alir Analisis



Gambar 5. Bagan Alir Analisis

Analisis pada studi ini dimulai dengan melakukan studi literatur terhadap studi-studi terdahulu mengenai perbaikan tanah lunak dengan metode *Vacuum Preloading*, perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode Terzaghi dan metode Asaoka, dan perhitungan *Back Analysis* untuk menentukan parameter tanah baru. Kemudian melakukan korelasi data-data tanah untuk menentukan parameter tanah yang dibutuhkan dan melakukan perhitungan penurunan teoritis menggunakan metode Terzaghi untuk menentukan besarnya penurunan konsolidasi akhir, waktu konsolidasi dan derajat konsolidasi. Selanjutnya, melakukan perhitungan penurunan aktual dengan menggunakan metode Asaoka dari hasil *monitoring settlement plate* di lapangan untuk menentukan besarnya penurunan akhir, waktu konsolidasi dan derajat konsolidasi. Dari hasil perhitungan penurunan dengan metode Asaoka dilakukan perhitungan *Back Analysis*

untuk menentukan parameter tanah baru yang memengaruhi perbedaan yang signifikan dari kedua metode tersebut. Terakhir, melakukan perbandingan hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan kedua metode pada kedua lokasi yang ditinjau.

## HASIL dan PEMBAHASAN

Pada analisis ini digunakan contoh perhitungan pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing dan untuk lokasi pembanding proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung langsung dituliskan hasil dari perhitungan.

### Analisis Perhitungan Penurunan Konsolidasi Menggunakan Metode Terzaghi

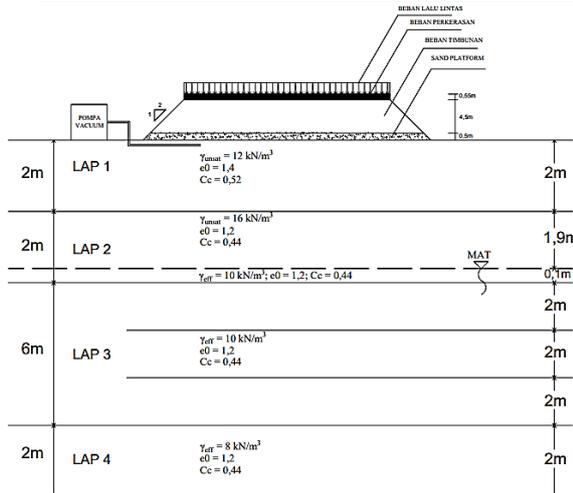
Terbatasnya data yang didapat sehingga dilakukannya korelasi nilai-nilai parameter tanah dari nilai standart penetration test dan didapatkan nilai parameter tanah yang dapat digunakan dalam penentuan analisis penurunan tanah.

Tabel 1. Rekapitulasi Data Tanah Dasar Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing

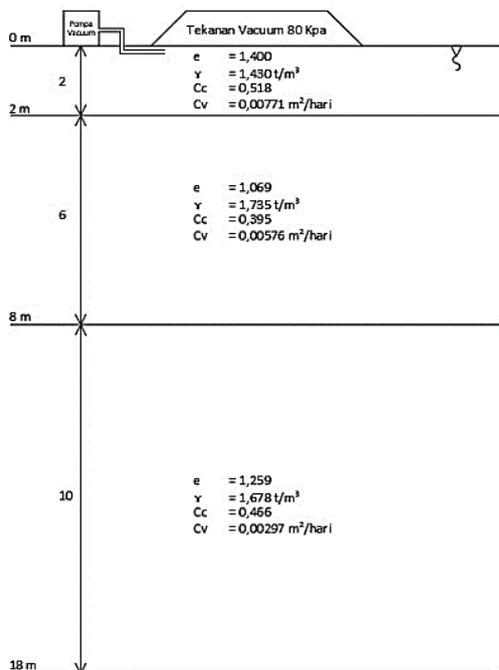
H	$\gamma$ unsat	$\gamma$ sat	$e_0$	Cc	Cs	Cv
0 - 2	12	16	1.4	0.52	0.104	1.E-07
2 - 4	16	20	1.2	0.44	0.089	1.E-07
4 - 6	16	20	1.2	0.44	0.089	1.E-07
6 - 8	16	20	1.2	0.44	0.089	1.E-07
8 - 10	16	20	1.2	0.44	0.089	1.E-07
10- 12	14	18	1.2	0.44	0.089	1.E-07

Tabel 2. Rekapitulasi Data Tanah Dasar Proyek Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung

H	$\gamma$ sat	$e_0$	LL (%)	Cc	Cs	Cv
1 – 1,5	16	1.4	62.5	0.518	0.104	8.E-03
5 – 5,5	20	1.07	69.1	0.396	0.079	6.E-03
9 – 9,5	20	1.26	85.6	0.466	0.093	3.E-03



**Gambar 6.** Penampang Melintang Tanah Proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing



**Gambar 7.** Penampang Melintang Tanah Proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung

Perhitungan penurunan konsolidasi mengacu pada gambar penampang melintang tanah dimana pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing menggunakan lapisan tanah H setiap 2-meter dan untuk lokasi pembanding di proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung menggunakan lapisan tanah H

setiap 1 meter. Untuk desain dari beban vakum efesiesinya 80% atau 80 Kpa. Sehingga pada perhitungan analisis ini, maka tegangan tambahannya menjadi beban dari vakum + beban dari tanah timbunan.

Pada kedua lokasi dilakukan perhitungan dengan cara yang sama sehingga didapatkan hasil dari penurunan sebesar 2,152 meter, 2,200 meter pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing dan untuk lokasi pembanding proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung penurunan sebesar 1,157 meter. Rekapitulasi Perhitungan metode Terzaghi dapat dilihat pada lampiran.

### Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Metode Terzaghi

Untuk dapat menghitung waktu penurunan konsolidasi menggunakan bantuan PVD beserta vakum sehingga sebelum melakukan perhitungan ada beberapa nilai yang harus dicari berupa nilai zona pengaruh PVD, diameter ekuivalen, nilai faktor hambatan dan koefisien aliran arah horizontal.

**Tabel 3.** Rekapitulasi Perhitungan Waktu Penurunan Menggunakan PVD

Proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing		
D =	1.13	meter
dw =	0.059	meter
F (n) =	2.216	
Ch =	0.025	m <sup>2</sup> /hari
t =	66	Hari

Proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung		
D =	1.155	meter
dw =	0.059	meter
F (n) =	2.239	
Ch =	0.008	m <sup>2</sup> /hari
t =	216	hari

168	43.9	48
175	48	52.1
182	52.1	55.1
189	55.1	57.4
196	57.4	58.6
203	58.6	60
210	60	61.4
217	61.4	62.3
224	62.3	63
231	63	63.7
238	63.7	64.6
245	64.6	65.5
252	65.5	66.2
259	66.2	0

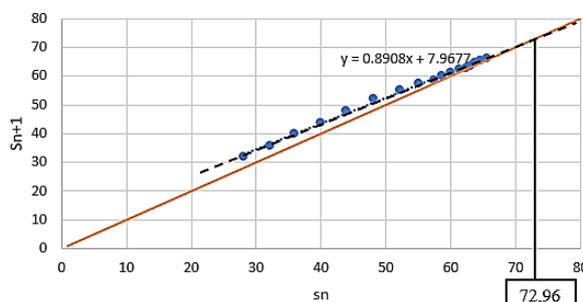
**Analisis Perhitungan Penurunan Konsolidasi Menggunakan Metode Asaoka**

Langkah pertama untuk memulai perhitungan dimana dari hasil monitoring *settlement plate* yang didapat diplotkan hasilnya dan dibuat grafik pengamatan hasil *settlement* pada hari ke-n (Sn) sebagai sumbu (x) dan hasil *settlement* pada hari n+1 (Sn+1) sebagai sumbu (y) pada grafik terbentuk titik-titik hasil pengamatan kemudian dibuat trendline. Selanjutnya membuat garis dengan sudut 45° yang menghasilkan garis tersebut akan berpotongan dengan garis trendline yang hasilnya merupakan nilai dari *settlement final*. Dalam analisis ini digunakan interval waktu 7 hari sehingga didapat prediksi metode Asaoka besar penurunan pada hari ke-n (Sn) dan besar penurunan pada hari ke-n+1 (Sn+1) serta didapat juga grafik prediksi penurunan akhir metode Asaoka.

**Tabel 4.** Besar Penurunan Pada Hari Ke-n (Sn) dan Besar Penurunan Pada Hari Ke-n (Sn+1)

SP. 1L		
Hari Ke	Sn	Sn+1
140	28.1	32.1
147	32.1	35.8
154	35.8	39.9
161	39.9	43.9

SP. 1 L



**Gambar 8.** Grafik Prediksi Penurunan Akhir Metode Asaoka

Dilakukan proses yang sama pada saat melakukan perhitungan pada kedua lokasi analisis. Dengan bantuan Microsoft Excel pada grafik prediksi penurunan akhir metode Asaoka didapatkan hasil persamaan  $y = x$  dan nilai  $y = 0,8908x + 7,9677$ . Sehingga dapat dicari nilai x dengan persamaan  $x = \frac{b1 - b2}{y2 - y1}$  dan didapat hasil penurunan akhir berdasarkan metode Asaoka pada

SP. 1L sebesar 72,96 cm dan pada SP. 12L sebesar 84,7 cm.

**Tabel 5.** Perbandingan Sc Teoritis dan metode Asaoka Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing.

Settlement Plate	Penurunan Teoritis Hari Ke-259 (m)	Penurunan Metode Asaoka Hari Ke-259 (m)	Perbandingan Sc Asaoka dan Teoritis
SP. 1L	2.161	0.730	0.338
SP. 2R	2.161	0.750	0.347
SP. 3	2.210	0.779	0.353
SP. 4R	2.161	0.831	0.385
SP. 5L	2.161	0.803	0.372

**Tabel 6.** Perbandingan Sc Teoritis dan metode Asaoka Proyek Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung.

Settlement Plate	Penurunan Teoritis Hari Ke-238 (m)	Penurunan Metode Asaoka Hari Ke-238 (m)	Perbandingan Sc Asaoka dan Teoritis
SP. 12L	1.157	0.847	0.732
SP. 12CL	1.157	1.091	0.943
SP. 12R	1.157	0.803	0.694

### Analisis Waktu Penurunan Konsolidasi Menggunakan Metode Asaoka

Pada perhitungan teori Terzaghi sudah didapat hasil waktu penurunan konsolidasi untuk mencapai derajat konsolidasi 90% selanjutnya dilakukan analisis menggunakan metode Asaoka, dimana analisis ini dilakukan dengan melihat monitoring *settlement plate* pada hari keberapa derajat konsolidasi sudah mencapai 90%.

**Tabel 7.** Rekapitulasi Waktu Pada Derajat Konsolidasi Sudah Mencapai 90% Berdasarkan metode Asaoka

Settlement Plate	Derajat konsolidasi (%)	Hari ke -
SP. 1L	90%	252
SP. 2R	90%	238
SP. 3	90%	238
SP. 4R	90%	245
SP. 5L	90%	238

Settlement Plate	Derajat konsolidasi (%)	Hari ke -
SP. 12L	90%	189
SP. 12CL	90%	189
SP. 12R	90%	196

Pada hasil rekapitulasi diatas diambil nilai yang kritis. Sehingga didapatkan waktu penurunan konsolidasi menggunakan metode Asaoka proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing yaitu 252 hari dan untuk lokasi pembandingan proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung yaitu 196 hari.

### Analisis Derajat Konsolidasi Berdasarkan Hasil Monitoring

#### *Settlement Plate* (Metode Asaoka)

Perhitungan dari hasil bacaan *settlement plate* ( $U_v$ -sp) yaitu dengan cara membandingkan besar dari penurunan aktual pada waktu tertentu (t) terhadap penurunan konsolidasi akhir total yang diperoleh dari metode Asaoka. Didapatkan penurunan actual pada SP. 1L sebesar 0,662 meter pada hari ke-259 dan penurunan akhir metode Asaoka sebesar 0,730 sehingga derajat konsolidasi yang tercapai pada hari ke-259 yaitu 90,73%.

**Tabel 8.** Rekapitulasi Derajat Konsolidasi Berdasarkan Prediksi Metode Asaoka

Settlement Plate	Penurunan Aktual Hari Ke-259 (m)	Penurunan Akhir Prediksi Metode Asaoka (m)	Derajat Konsolidasi (%)
SP 1L	0.662	0.730	90.73%
SP 2R	0.695	0.750	92.70%
SP 3	0.726	0.779	93.15%
SP 4R	0.764	0.831	91.95%
SP 5L	0.748	0.803	93.12%

Settlement Plate	Penurunan Aktual Hari Ke-238 (m)	Penurunan Akhir Prediksi Metode Asaoka (m)	Derajat Konsolidasi (%)
SP 12L	0.815	0.847	96.26%
SP 12CL	1.039	1.091	95.21%
SP 12R	0.738	0.803	91.94%

*Piezometer*

Pada lokasi analisis terdapat 1 titik pemantauan *piezometer* untuk perhitungan derajat konsolidasi dari hasil bacaan *piezometer* didapat 105,8% dan untuk lokasi pembanding proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung didapat 88%.

**Analisis Balik Parameter Tanah dari Hasil Metode Asaoka**

Perhitungan *back analysis* ini meliputi parameter tanah koefisien konsolidasi tanah arah horizontal (Ch), koefisien kompresibilitas volume ( $m_v$ ), permeabilitas tanah arah vertikal ( $k_v$ ) dan indeks pemampatan ( $C_c$ ).

Nilai Koefisien Konsolidasi Arah Horizontal (Ch)

Perhitungan nilai Ch didapatkan pada setiap titik *settlement plate* menggunakan hasil metode Asaoka, sehingga didapat nilai Ch.

**Tabel 9.** Rekapitulasi Nilai Ch

Settlement Plate	Cv	Ch
SP. 1L	0.0124	0.0054
SP. 2R	0.0124	0.0062
SP. 3	0.0124	0.0062
SP. 4R	0.0124	0.0055
SP. 5L	0.0124	0.0062

Settlement Plate	Cv	Ch
SP. 12L	0.00398	0.00278
SP. 12CL	0.00398	0.00284
SP. 12R	0.00398	0.00215

Nilai Koefisien Kompresibilitas Volume ( $m_v$ )

Perhitungan nilai koefisien kompresibilitas volume didapat dari persamaan  $Sc = m_v \times \Delta P \times H_0$  dengan nilai Sc sebagai penurunan akhir hasil prediksi metode Asaoka. Sehingga nilai  $m_v$  dapat dihitung dengan rumus  $Mv = \frac{Sc \text{ Asaoka}}{\Delta P \times H_0}$  dengan rumus yang sama didapatkan nilai  $m_v$  pada setiap titik *settlement plate*.

**Tabel 10.** Rekapitulasi Nilai  $m_v$

Settlement Plate	Penurunan Akhir Prediksi Metode Asaoka (m)	$m_v$ ( $m^2/kN$ )
SP. 1L	0.730	0.000357
SP. 2R	0.750	0.000367
SP. 3	0.779	0.000360
SP. 4R	0.831	0.000407
SP. 5L	0.803	0.000394

Settlement Plate	Penurunan Akhir Prediksi Metode	
	Asaoka (m)	$m_v$ ( $m^2/kN$ )
SP. 12L	0.847	0.000567
SP. 12CL	1.091	0.000730
SP. 12R	0.803	0.000537

Nilai Permeabilitas Tanah Arah Vertikal ( $k_v$ )

Rumus yang dipakai untuk perhitungan nilai permeabilitas tanah arah vertikal  $C_v = \frac{k}{\gamma_{water} \times m_v}$  sehingga rumus  $k_v$  yaitu  $k = C_v \times \gamma_{water} \times m_v$  dengan rumus yang sama didapatkan nilai  $k_v$  pada setiap titik *settlement plate*.

**Tabel 11.** Rekapitulasi Nilai  $k_v$

Settlement Plate	$m_v$	$k_v$
SP. 1L	0.000357	0.000044
SP. 2R	0.000367	0.000046
SP. 3	0.000360	0.000045
SP. 4R	0.000407	0.000051
SP. 5L	0.000394	0.000049

Settlement Plate	$m_v$	$k_v$
SP. 12L	0.000567	0.000023
SP. 12CL	0.000730	0.000029
SP. 12R	0.000537	0.000021

**Nilai Indeks Pemampatan ( $C_c$ )**

Setelah parameter-parameter tanah yang sebelumnya sudah dihitung di analisa balik maka dapat dilakukan perhitungan ulang penurunan menggunakan metode Terzaghi.

**Tabel 12.** Rekapitulasi Nilai  $C_c$

Kedalaman	SP. 1L	SP. 2R	SP. 3	SP. 4R	SP. 5L
0 - 2	0.246	0.252	0.244	0.280	0.270
2 - 3,9	0.251	0.258	0.246	0.285	0.276
3,9 - 4	0.268	0.275	0.264	0.305	0.295
4 - 6	0.278	0.285	0.274	0.316	0.306
6 - 8	0.297	0.305	0.294	0.338	0.327
8 - 10	0.314	0.323	0.312	0.358	0.346
10 - 12	0.330	0.339	0.328	0.376	0.364

Kedalaman	SP. 12L	SP. 12CL	SP. 12R
1 - 2	0.379	0.489	0.359
2 - 8	0.290	0.373	0.274
8 - 18	0.341	0.439	0.323

**Perbandingan Perhitungan Penurunan Konsolidasi pada Kedua Tinjauan Lokasi**

Perbandingan besarnya penurunan konsolidasi dan waktu konsolidasi dengan menggunakan Metode Terzaghi dan metode Asaoka pada kedua tinjauan lokasi menunjukkan hasil yang berbanding lurus. Perhitungan menggunakan metode Terzaghi memberikan hasil penurunan yang lebih besar dibandingkan dengan metode Asaoka. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena parameter yang digunakan dalam perhitungan menggunakan metode Terzaghi kurang akurat. Adapun perbandingan besarnya penurunan konsolidasi akhir dari kedua tinjauan lokasi dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 13.** Perbandingan Penurunan pada Kedua Tinjauan Lokasi

Tinjauan Lokasi	Penurunan Rata-Rata Metode Terzaghi (m)	Penurunan Akhir Rata-Rata Metode Asaoka (m)	Persentase Perbandingan Penurunan Kedua Metode
Jalan Tol Cibitung-Cilincing	2.161	0.779	36%
Jalan Tol Pematang Panggang-Kayu Agung	1.157	0.914	79%

Perbandingan besarnya derajat konsolidasi pada kedua tinjauan lokasi dengan menggunakan metode Asaoka menunjukkan hasil penurunan aktual telah mencapai lebih dari 90% dari penurunan akhir (*final settlement*), dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

**Tabel 14.** Perbandingan Derajat Konsolidasi pada Kedua Tinjauan Lokasi

Tinjauan Lokasi	Rata-Rata Penurunan Aktual di Lapangan (m)	Rata-Rata Penurunan Akhir (final settlement) (m)	Derajat Konsolidasi (%)
Jalan Tol Cibitung-Cilincing	0,719	0,779	92,33
Jalan Tol Pematang Panggang-Kayu Agung	0,864	0,913	94,47

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis ini, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya penurunan konsolidasi menurut metode Terzaghi pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing rata-rata sebesar 2,161-meter dan penurunan konsolidasi menurut metode Asaoka

rata-rata sebesar 0,779-meter dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% selama 252 hari sehingga perbandingan penurunan antara metode Terzaghi dengan metode Asaoka rata-rata sebesar 36%.

2. Besarnya penurunan konsolidasi menurut metode Terzaghi pada pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung sebesar 1,157-meter dan penurunan konsolidasi menurut metode Asaoka rata-rata sebesar 0,914 meter dengan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% selama 196 hari sehingga perbandingan penurunan antara metode Terzaghi dengan metode Asaoka rata-rata sebesar 79%.
3. Derajat konsolidasi yang didapat menurut metode Asaoka pada proyek pembangunan Jalan Tol Cibitung - Cilincing rata-rata sebesar 92,33% sedangkan pada proyek pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang - Kayu Agung rata-rata sebesar 94,47%.
4. Hasil perhitungan dari metode Asaoka dapat dihitung kembali dengan *back analysis* sehingga didapatkan parameter-parameter tanah baru. Parameter tanah yang mendukung perbedaan nilai penurunan konsolidasi cukup signifikan dipengaruhi oleh indeks pemampatan (Cc).
5. Perhitungan penurunan konsolidasi menggunakan metode Terzaghi cocok digunakan sebagai perencanaan perbaikan tanah karena cukup menggunakan data parameter tanah hasil laboratorium atau hasil korelasi empiris. Dengan metode ini juga dapat memprediksi waktu penurunan yang dibutuhkan sehingga dapat merencanakan pelaksanaan perbaikan tanah dengan waktu yang optimal. Namun memiliki kekurangan pada hasil

prediksi penurunan konsolidasi akhir yang kemungkinan kurang akurat terhadap penurunan konsolidasi aktual di lapangan.

6. Perhitungan penurunan konsolidasi akhir menggunakan metode Asaoka menghasilkan prediksi penurunan yang lebih akurat karena perhitungan menggunakan data hasil *monitoring settlement plate* di lapangan. Metode ini lebih cocok digunakan untuk *me-monitoring* dan mengevaluasi prediksi penurunan konsolidasi pada saat masa konstruksi. Namun perhitungan dengan metode ini tidak dapat dilakukan jika apabila tidak tersedia data hasil *monitoring settlement plate* di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. P. Kuswanda, "Prosiding Problematika Pembangunan Infrastruktur pada Tanah Lempung Lunak dan Alternatif Metoda Penggunaannya," *Pros. Semnas T.Sipil Unlam "Pembangunan Berkelanjutan di Lahan Basah,"* pp. 270–288, 2015
- [2] N. I. R. R. Juliana, "Analisis Efek Prefabricated Vertical Drain Pada Timbunan Tanah Lunak Di Bandar Udara Kualanamu," no. July 2012, 2021.
- [3] Y. Rahmian, E. Priadi, and Aprianto, "Studi Analisis Konsolidasi Tanah Pada Area Modul 1 Di Area Perpanjangan Runaway Bandara Supadio Pontianak," pp. 1–8.
- [4] W. D. Siswoko Adi Saputro, Agus Setyo Muntohar, "Prediksi Penurunan Tanah Timbunan pada Perbaikan Tanah Lunak dengan Prefabricated Vertical Drain Pada Proyek Pembangunan Landas Pacu Bandara Ahmad Yani Semarang," 2016, [Online]. Available: [https://etd.umy.ac.id/id/eprint/27286/%0Ahttps://etd.umy.ac.id/id/eprint/27286/11/Naskah Publikasi.pdf](https://etd.umy.ac.id/id/eprint/27286/%0Ahttps://etd.umy.ac.id/id/eprint/27286/11/Naskah%20Publikasi.pdf)
- [5] W. A. N. Aspar, E. N. Fitriani, and A. Arthono, "Perhitungan Kembali Nilai Koefisien Konsolidasi Pada Perbaikan Tanah Lempung Lunak," *Teknologi*, vol. 7, no. 1, 2017.
- [6] R. Rani, M. Yusa, and F. Fatnanta, "Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah menggunakan Metode Vacuum Consolidation pada Perluasan Bandara di Kota Jambi," vol. 16, no. April, pp. 9–14, 2022.
- [7] B. M. Das, *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik*. 1995.
- [8] F. Ibrahim, G. S. Sentosa, and A. Kawanda, "Studi Kasus Perbandingan Analisis Penurunan Akibat Timbunan, Di Tangerang, Banten," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 2, p. 85, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i2.4297.
- [9] R. Yohanson *et al.*, "Back Analysis Parameter Konsolidasi Pada Pembebanan Vakum," pp. 81–92.
- [10] Badan Standardisasi Nasional, "Persyaratan perancangan geoteknik," 2017.
- [11] C. E. Putra and C. A. Makarim, "Analisis Alternatif Perbaikan Tanah Lunak dan Sangat Lunak pada Jalan Tol," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 3, no. 4, p. 1137, 2020, doi:10.24912/jmts.v3i4.8382.
- [12] M. A. Refi A, "Analisa Perbaikan Tanah Pada Pembangunan Jalan Tol Padangsicincin, Sumatera Barat Dengan Metode Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain," *Ensiklopedia J. Peranc.*, vol. 2, no. 2, pp. 155–164, 2020.
- [13] H. Edwin and A. Suhendra, "Analisis Metode Vacuum

- Preloading Untuk Mempercepat Konsolidasi Pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air,” *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 4, p. 87, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i4.6166.
- [14] H. C. Hardiyatmo, “Metode Vacuum Preloading Sebagai Salah Satu Alternatif Solusi Pembangunan Timbunan Di Atas Tanah Lunak,” vol. 1, no. 02, pp. 47–55, 2017.
- [15] Z. F. Lilabsari, A. Munawir, Y. Zaika, and W. P. Kuswanda, “Evaluasi Kinerja Perbaikan Tanah Lunak Dengan Menggunakan Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (PVD),” vol. 12, no. 2, pp. 1–6, 2018, [Online]. Available: <https://rekayasasipil.ub.ac.id/index.php/rs/article/view/525>

**Lampiran Tabel**

**Tabel 13.** Rekapitulasi Perhitungan Teoritis Penurunan Konsolidasi ( $S_c$ ) Metode Terzaghi Proyek Pembangunan Jalan Tol Cibitung – Cilincing

<b>Tahap 1 (Preloading 2 meter)</b>												
<b>Kedalaman</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>e_0</math></b>	<b><math>C_c</math></b>	<b><math>C_s</math></b>	<b><math>P_{o'}</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta P</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>PC (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>OCR</b>	<b><math>S_c</math> (m)</b>	<b><math>\Sigma SC</math> (m)</b>	
0 - 2	2	12	1.4	0.52	0.104	12	115.500	32.0	2.67	0.296		
2 - 3.9	1.9	16	1.2	0.44	0.089	39.2	114.996	59.2	1.51	0.173		
3.9 - 4	0.1	10	1.2	0.44	0.089	54.9	114.772	74.9	1.36	0.008		
4 - 6	2	10	1.2	0.44	0.089	65.4	114.100	85.4	1.31	0.140	<b>0.928</b>	
6 - 8	2	10	1.2	0.44	0.089	85.4	112.924	105.4	1.23	0.118		
8 - 10	2	10	1.2	0.44	0.089	105.4	111.636	125.4	1.19	0.102		
10 - 12	2	8	1.2	0.44	0.089	123.4	110.628	143.4	1.16	0.091		

<b>Tahap 2 (Preloading 2,5 meter)</b>												
<b>Kedalaman</b>	<b>H (m)</b>	<b><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>e_0</math></b>	<b><math>C_c</math></b>	<b><math>C_s</math></b>	<b><math>P_{o'}</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta P</math> (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>PC (kN/m<sup>2</sup>)</b>	<b>OCR</b>	<b><math>S_c</math> (m)</b>	<b><math>\Sigma SC</math> (m)</b>	
0 - 2	2	12	1.4	0.52	0.104	12	115.500	32.0	2.67	0.507		
2 - 3.9	1.9	16	1.2	0.44	0.089	39.2	114.996	59.2	1.51	0.373		
3.9 - 4	0.1	10	1.2	0.44	0.089	54.9	114.772	74.9	1.36	0.018		
4 - 6	2	10	1.2	0.44	0.089	65.4	114.100	85.4	1.31	0.345	<b>2.152</b>	
6 - 8	2	10	1.2	0.44	0.089	85.4	112.924	105.4	1.23	0.320		
8 - 10	2	10	1.2	0.44	0.089	105.4	111.636	125.4	1.19	0.301		
10 - 12	2	8	1.2	0.44	0.089	123.4	110.628	143.4	1.16	0.287		

**Tabel 14.** Rekapitulasi Perhitungan Teoritis Penurunan Konsolidasi (Sc) Metode Terzaghi Proyek Pembangunan Jalan Tol Pematang Panggang – Kayu Agung

H (m)	Z (m)	e0	Cc	Cs	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Po' (kN/m <sup>2</sup> )	Pc (kN/m <sup>2</sup> )	$\Delta P$ (kN/m <sup>2</sup> )	OCR	Sc (m)	$\Sigma SC$ (m)
1	0.5	1.4	0.518	0.1036	14.3	2.1	22.1	81.577	10.306	0.168	
1	1.5	1.4	0.518	0.1036	14.3	6.4	26.4	81.577	4.102	0.139	
1	2.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	18.4	38.4	81.577	2.088	0.092	
1	3.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	25.7	45.7	81.577	1.777	0.080	
1	4.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	33.1	53.1	81.577	1.604	0.072	
1	5.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	40.4	60.4	79.333	1.494	0.063	
1	6.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	47.8	67.8	79.132	1.418	0.058	
1	7.5	1.069	0.396	0.0791	17.4	55.2	75.2	78.932	1.363	0.053	<b>1.157</b>
1	8.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	57.6	77.6	78.731	1.347	0.056	
1	9.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	64.4	84.4	78.531	1.310	0.052	
1	10.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	71.2	91.2	78.331	1.281	0.049	
1	11.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	78.0	98.0	78.130	1.256	0.046	
1	12.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	84.8	104.8	77.930	1.236	0.043	
1	13.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	91.6	111.6	77.729	1.218	0.041	
1	14.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	98.3	118.3	77.529	1.203	0.039	
1	15.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	105.1	125.1	77.328	1.190	0.037	
1	16.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	111.9	131.9	77.128	1.179	0.035	
1	17.5	1.259	0.466	0.0932	16.8	118.7	138.7	76.927	1.169	0.034	