

# **PREDICTION OF ROAD CLEARANCE CASE STUDY: HANDLING WITH PRE-LOADING AT TEBING TINGGI, NORTH SUMATERA**

**Bartholomeus<sup>[1]</sup>, Humisar Pasaribu<sup>[2]</sup>**

<sup>[1], [2]</sup> *Civil Engineering Department, Universitas HKBP Nommensen, Indonesia*  
*Email: bartholomeus@uhn.ac.id, pasaribu.humisar@gmail.com*

**Received:** 05 March 2022 / **Accepted:** 27 March 2022

**DOI** [10.28932/jts.v18i1.4592](https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4592)

**How to cited this article:**

Bartholomeus, Pasaribu, H., (2022). Prediksi Penurunan Timbunan Jalan Studi Kasus: Penanganan Dengan Pre-Loading Di Tebing Tinggi, Sumatera Utara. *Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 166–184. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i1.4592>

## **ABSTRACT**

*One method of handling soil that can be done to speed up the consolidation process is to add a Pre-Loading embankment on top of the plan embankment. In addition, this handling is also carried out to achieve a reduction by the design load, so that the settlement of embankment after the construction period still meets the required criteria and standards. This study was conducted to obtain a comparison of the prediction of embankment settlement with the empirical method using CPT data and the prediction of settlement using the Asaoka Method. In addition, the results of the consolidation coefficient will also be compared which can be used to determine the right time for Pre-Loading excavation during the construction period. The data used are CPT test data in the field as well as laboratory test data and measurement data for the settlement plate settlement closest to the position of the CPT test. From the analysis carried out, it is obtained that the prediction of decline using the Asaoka method is smaller than the prediction of decline using the empirical method using CPT data. In addition, from the analysis, it was found that at locations HB-04 and SP 70, as well as HB-07 and SP 91, showed laboratory consolidation coefficient values ( $c_v$ -Lab.) which were close to the consolidation coefficients of the Asaoka Method ( $c_v$ -Asa.), while in HB -05 and SP 79 and HB-06 and SP 85 show a large difference in values. The average comparison of the  $c_v$ -Lab. consolidation coefficients and  $c_v$ -Asa. is 58.5%.*

**Keywords:** CPT, Consolidation, Asaoka Method, Pre-Loading, Settlement Plate.

## **PREDIKSI PENURUNAN TIMBUNAN JALAN STUDI KASUS: PENANGANAN DENGAN PRE-LOADING DI TEBING TINGGI, SUMATERA UTARA**

### **ABSTRAK**

Salah satu metode penanganan tanah yang dapat dilakukan untuk mempercepat proses konsolidasi adalah dengan menambahkan timbunan *Pre-Loading* di atas timbunan rencana. Selain itu, penanganan ini juga dilakukan untuk mencapai penurunan sesuai rencana, sehingga penurunan timbunan setelah masa konstruksi masih memenuhi kriteria dan standar yang dipersyaratkan. Studi ini dilakukan untuk memperoleh perbandingan prediksi penurunan timbunan dengan metode empiris yang menggunakan data CPT dan prediksi penurunan dengan menggunakan Metode Asaoka. Selain itu akan dibandingkan juga hasil koefisien konsolidasi yang dapat digunakan untuk menentukan waktu yang tepat untuk penggalan *Pre-Loading* di masa konstruksi. Data yang digunakan adalah data pengujian CPT di lapangan serta data uji laboratorium dan data pengukuran penurunan *Settlement Plate* yang terdekat dengan posisi pengujian CPT tersebut. Dari analisis yang

dilakukan, diperoleh prediksi penurunan dengan Metode Asaoka lebih kecil dari prediksi penurunan dengan metode empiris yang menggunakan data CPT. Selanjutnya, dari analisis diperoleh hasil bahwa pada lokasi HB-04 dan SP 70 serta HB-07 dan SP 91 menunjukkan nilai koefisien konsolidasi laboratorium ( $c_{v-Lab.}$ ) yang mendekati koefisien konsolidasi Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ ), sedangkan pada HB-05 dan SP 79 serta HB-06 dan SP 85 menunjukkan perbedaan nilai yang jauh. Rata-rata perbandingan koefisien konsolidasi  $c_{v-Lab.}$  dan  $c_{v-Asa.}$  adalah 58,5%.

**Kata kunci:** *CPT, Konsolidasi, Metode Asaoka, Pre-Loading, Settlement Plate.*

## 1. PENDAHULUAN

Secara umum beberapa kendala yang dihadapi ketika melakukan timbunan adalah penurunan, stabilitas tanah dasar dan timbunan, serta daya dukung tanah dasar. Kendala-kendala tersebut dapat ditangani dengan perbaikan tanah. Das menyatakan bahwa perbaikan tanah dengan menggunakan bahan tambahan yang disebut stabilisasi tanah dapat mengurangi penurunan, meningkatkan faktor keamanan lereng timbunan, maupun menurunkan karakteristik penyusutan dan pemuaihan tanah (Desiani & Redjasantana, 2012). Ketika konstruksi timbunan jalan dilakukan di atas tanah dasar yang memiliki lapisan tanah kohesif yang berpotensi mengalami konsolidasi, maka untuk jangka waktu yang panjang, penurunan pada timbunan tersebut dapat terjadi. Kriteria desain yang digunakan dalam perencanaan dan konstruksi jalan pada pengembangan infrastruktur saat ini mensyaratkan adanya batasan penurunan tersebut, sehingga penanganan tanah terhadap penurunan perlu untuk dilakukan pada masa konstruksi. Salah satu metode penanganan tanah yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan timbunan *Pre-Loading* pada timbunan rencana untuk mempercepat proses konsolidasi dan untuk mencapai penurunan sesuai beban rencana, sehingga setelah konstruksi penurunan timbunan setelah masa konstruksi masih memenuhi kriteria yang dipersyaratkan.

Untuk memprediksi waktu dan besar penurunan konsolidasi, dalam perencanaan biasanya dilakukan analisis prediksi penurunan secara empiris dengan metode Terzaghi dan *Finite Elemen Method* (FEM). Kemudian, untuk mendapatkan prediksi penurunan berdasarkan data penurunan tanah aktual di lapangan, digunakanlah Metode Asaoka. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam satu dekade ini terkait dengan analisis penurunan dengan metode-metode tersebut. Nawir, Apoji, Fatimatuzahro, & Pamudji (2012) melakukan analisis prediksi penurunan tanah dengan prosedur observasi Asaoka dengan hasil bahwa penurunan konsolidasi dengan Metode Asaoka diperoleh lebih kecil dibandingkan dengan penurunan berdasarkan Metode Terzhagi dan FEM. Hal serupa dilakukan Ibrahim, Sandjaja, & Kawanda (2019) pada analisis penurunan akibat timbunan di Tangerang, Banten yang mana penurunan dengan Metode Asaoka diperoleh lebih kecil dari penurunan berdasarkan Metode Terzhagi dan FEM. Sedangkan, Prakoso, Mukhlisin,

Raharjo, & Junaidi (2019) melakukan analisis penurunan timbunan tanah *silt* pada proyek jalan ruas Giriwoyo-Duwet, Wonogiri yang mana penurunan berdasarkan observasi lapangan lebih besar dibandingkan dengan penurunan secara analisis teoritis dan plaxis dengan FEM. Selain dengan metode tersebut, Sari, Endah, & Yogyanta (2017) melakukan perbandingan dan evaluasi penurunan konsolidasi tanah lempung lunak di Lianganggam, Kalimantan, Indonesia berdasarkan data laboratorium dan data *Cone Penetration Test* (CPT). Dari evaluasi yang dilakukan, diperoleh nilai koefisien *Constrained Modulus* ( $\alpha_M$ ) adalah 2,77.

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk memperoleh perbandingan prediksi penurunan timbunan yang menggunakan penanganan tanah dengan metode *Pre-Loading*. Analisis penurunan terdiri dari dua macam, yaitu analisis empiris dengan menggunakan data laboratorium serta data CPT dan analisis penurunan tanah dengan Metode Asaoka berdasarkan penurunan aktual dari data pengukuran di lapangan dengan instrumen *Settlement Plate* (SP). Selain itu, akan dilakukan juga perbandingan koefisien konsolidasi dari data pengujian laboratorium ( $C_{v-Lab.}$ ) dan hasil analisis dengan Metode Asaoka ( $C_{v-Asa.}$ ).

### 1.1 Korelasi Tahanan Konus ( $q_c$ )

Hubungan antara tahanan konus ( $q_c$ ) dengan *Initial Tangent Constrained Modulus* ( $M_0$ ) terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Korelasi *Initial Tangent Constrained Modulus* ( $M_0$ ) dengan  $q_c$

Kondisi	Hubungan <i>Initial Tangent Constrained Modulus</i> ( $M_0$ ) dengan $q_c$ (MPa)	$q_c$ Range
NC <i>Unaged</i>	$M_0 = 4 q_c$	$q_c < 10$ MPa
	$M_0 = 4 q_c + 20$ MPa	$10 \text{ MPa} < q_c < 50$ MPa
	$M_0 = 120$ MPa	$q_c > 50$ MPa
OC	$M_0 = 5 q_c$	$q_c < 50$ MPa
	$M_0 = 250$ MPa	$q_c > 50$ MPa

**Sumber:** (Lune, Robertson, & Powel, 1997)

Catatan: nilai  $M_0$  mewakili modulus pada kondisi lapangan *effective vertical stress*,  $\sigma'_{vo}$ , sebelum pengujian lapangan dilakukan.

Untuk menghitung area tegangan yang lebih tinggi, Lunne dan Christophersen menggunakan persamaan Janbu (1963) untuk menentukan *Constrained Modulus* ( $M_c$ ) seperti Persamaan 1 (Lune, Robertson, & Powel, 1997).

$$M_c = M_0 \sqrt{\frac{\sigma'_{vo} + \frac{\Delta\sigma'_{vo}}{2}}{\sigma'_{vo}}} \quad (1)$$

$\Delta\sigma'_{vo}$  adalah tegangan tambahan setelah tegangan awal. Secara umum, hubungan regangan dan tegangan dapat ditentukan dari uji konsolidasi satu dimensi dengan menggunakan Oedometer atau uji triaxial yang digunakan pada persamaan konsolidasi Terzaghi dengan Persamaan 2.

$$S_c = m_v \cdot \Delta\sigma_v \cdot H \quad (2)$$

H adalah tebal lapisan yang terkonsolidasi dan  $m_v$  adalah koefisien perubahan volume yang diperoleh dari Persamaan 3.

$$m_v = \frac{\varepsilon_v}{\sigma_v} \quad (3)$$

Invers dari koefisien perubahan volume,  $m_v$  tersebut merupakan *Constrained Modulus* ( $M_c$ ) yang dapat dituliskan dengan menggunakan Persamaan 4.

$$M_c = \frac{\sigma_v}{\varepsilon_v} = \frac{1}{m_v} \quad (4)$$

Sehingga, besar penurunan yang terjadi dapat dituliskan menjadi Persamaan 5.

$$S_c = \frac{\Delta\sigma_v \cdot H}{M_c} \quad (5)$$

Berdasarkan Buisman, *Constrained Modulus* ( $M_c$ ) untuk tanah dengan kohesi rendah (pasir) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 6 (Sari, Endah, & Yogyanta, 2017).

$$M_c = \frac{1}{m_v} = 1,5 q_c \quad (6)$$

*Constrained Modulus* ( $M_c$ ) dari uji konsolidasi satu dimensi menggunakan Oedometer dinyatakan dalam hubungan koefisien *Constrained Modulus* ( $\alpha_M$ ) dan tahanan konus seperti pada Persamaan 7 (Lune, Robertson, & Powel, 1997).

$$M_c = \alpha_M q_c \quad (7)$$

Sanglerat menyatakan bahwa nilai koefisien *Constrained Modulus* ( $\alpha_M$ ) untuk beberapa jenis tanah ditentukan pada Tabel 2 (Sari, Endah, & Yogyanta, 2017).

**Tabel 2.** Nilai  $\alpha_M$  Beberapa Jenis Tanah berdasarkan Sanglerat

$q_c$ (MPa)	$\alpha_M$	Jenis Tanah
$q_c < 0,7$	$3 < \alpha_M < 8$	Lempung berplastisitas rendah (CL)
$0,7 < q_c < 2$	$2 < \alpha_M < 5$	
$q_c > 2$	$1 < \alpha_M < 2,5$	
$q_c < 2$	$3 < \alpha_M < 6$	Lanau berplastisitas rendah (ML)
$q_c > 2$	$1 < \alpha_M < 2$	
$q_c < 2$	$2 < \alpha_M < 6$	Lanau dan lempung berplastisitas tinggi (MH CH)
$q_c < 2$	$1 < \alpha_M < 2$	
$q_c < 1,2$	$2 < \alpha_M < 8$	Lanau Organik ( <i>Organic Loam</i> ) (OL)
$q_c < 0,7$		Lempung organik (OH) / Gambut (Pt)
	$1,5 < \alpha_M < 4$	$50 < wc < 100$
	$1 < \alpha_M < 1,5$	$100 < wc < 200$

**Tabel 2.** Nilai  $\alpha_M$  Beberapa Jenis Tanah berdasarkan Sanglerat (Lanjutan)

$q_c$ (MPa)	$\alpha_M$	Jenis Tanah
	$0,4 < \alpha_M < 1$	$w_c > 200$
$2 < q_c < 3$	$2 < \alpha_M < 4$	Chalks
$q_c > 3$	$1,5 < \alpha_M < 3$	
$q_c < 5$	$\alpha_M = 2$	Pasir
$q_c > 10$	$\alpha_M = 1,5$	

**Sumber:** (Sari, Endah, & Yogyanta, 2017)

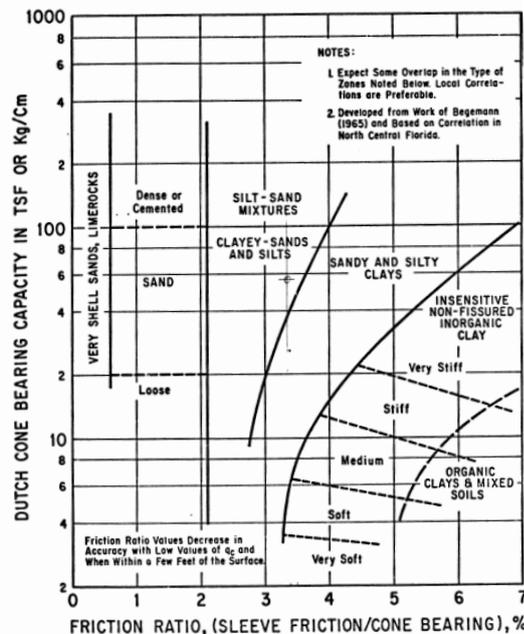
Dalam perhitungan penurunan akibat timbunan bertahap, koefisien *Constrained Modulus* ( $\alpha_M$ ) pada perhitungan penurunan berdasarkan data CPT belum tentu sama dengan di lapangan (Sari, Endah, & Yogyanta, 2017).

Anastasia, As win, Andy melakukan studi korelasi tahanan konus ( $q_c$ ) terhadap sifat kemampuan lempung di Bandung dengan menggunakan korelasi formula Mitchell dan Gardner (1975) seperti pada Persamaan 8 (Desiani, 2018).

$$\alpha = \frac{1}{m_v q_c} \tag{8}$$

$\alpha$  = koefisien yang bergantung pada nilai tahanan konus ( $q_c$ ).

Jenis tanah dari data CPT yang diperoleh dari lapangan dapat ditentukan dengan menggunakan hubungan antara tahanan konus dengan *friction ratio* menggunakan metode Schmertmann (1969) seperti pada Gambar 1.

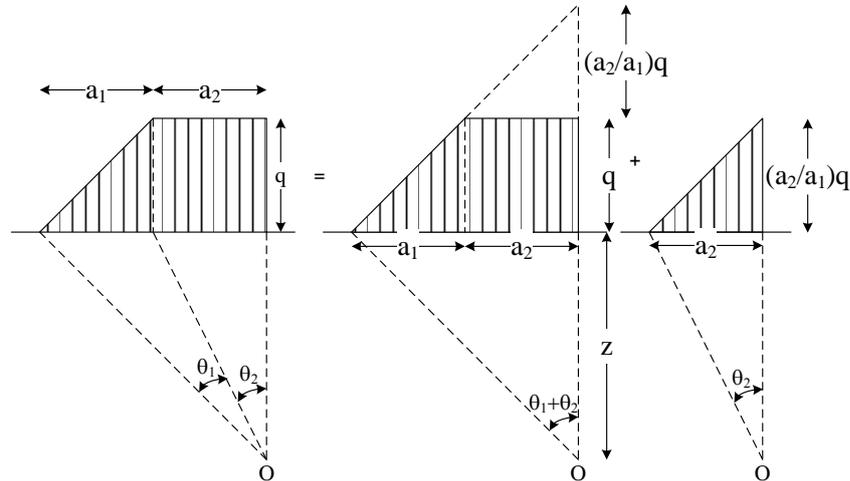


**Gambar 1.** Estimasi Jenis Tanah Berdasarkan *Dutch Friction-Cone Ratio* (Begemen *Mechanical Tip*)

**Sumber:** (Schertmann, 1977)

## 1.2 Tegangan Vertikal Akibat Timbunan Jalan ( $\Delta\sigma_v$ )

Akibat adanya timbunan jalan di atas permukaan tanah dasar, maka tanah dasar akan mengalami penambahan tegangan vertikal sebesar  $\Delta\sigma_v$ . Besarnya tegangan vertikal ( $\Delta\sigma_v$ ) yang terjadi pada lapisan tanah yang termampatkan akibat timbunan yang berbentuk trapesium seperti Gambar 2, dan dapat ditentukan dengan Persamaan 9.



**Gambar 2.** Penambahan Tegangan Akibat Timbunan Berbentuk Trapesium  
**Sumber:** (Das, 2014)

$$\Delta\sigma_v = \frac{q}{\pi} \left[ \left( \frac{a_1 + a_2}{a_1} \right) (\theta_1 + \theta_2) - \frac{a_2}{a_1} \theta_2 \right] \quad (9)$$

dengan faktor pengaruh adalah:

$$I_v = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{a_1 + a_2}{a_1} \right) (\theta_1 + \theta_2) - \frac{a_2}{a_1} \theta_2 \right] \quad (10)$$

Sehingga penambahan tegangan dapat dituliskan dengan Persamaan 11.

$$\Delta\sigma_v = I_v q \quad (11)$$

## 1.3 Prosedur Observasi Asaoka pada Prediksi Penurunan Tanah

Prediksi penurunan dari hasil pengamatan di lapangan, dalam hal ini pengamatan *Settlement Plate*, dapat dilakukan dengan Metode konstruksi Asaoka (1978) yang merupakan metode observasi yang paling populer karena selain dapat memprediksi penurunan akhir, juga dapat memungkinkan diperolehnya parameter-parameter konsolidasi. Pada observasi Asaoka ini, menurut Mikasa hubungan penurunan tanah dengan waktu diturunkan melalui persamaan differensial dari persamaan dasar konsolidasi berikut (Nawir, Apoji, Fatimatuzahro, & Pamudji, 2012).

$$e_v = c_v \varepsilon_{zz} \quad (12)$$

Keterangan:

$e_v(t,z)$  = regangan vertikal (regangan volum)

- t = waktu ( $\geq 0$ )
- z = kedalaman dari bagian atas lapisan lempung
- $c_v$  = koefisien konsolidasi

Untuk mendapatkan persamaan yang lebih sederhana, Asaoka (1978) menurunkan persamaan dasar konsolidasi tersebut menjadi persamaan differensial linier biasa. Besarnya penurunan pada interval waktu ke-i ( $S_i$ ) dapat dituliskan dalam Persamaan 13.

$$S_i = \frac{S_0}{1-\beta_1} \left[ 1 - \exp \left( \left( \ln \frac{\beta_1}{\Delta t} \right) t_i \right) \right] \quad (13)$$

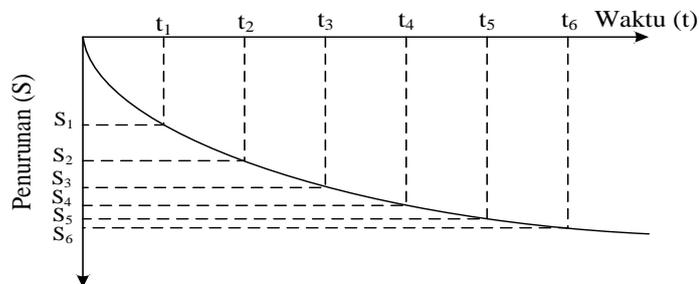
Penurunan akhir,  $\rho_f$ , dari konsolidasi yang terjadi adalah:

$$S_f = \frac{S_0}{1-\beta_1} \quad (14)$$

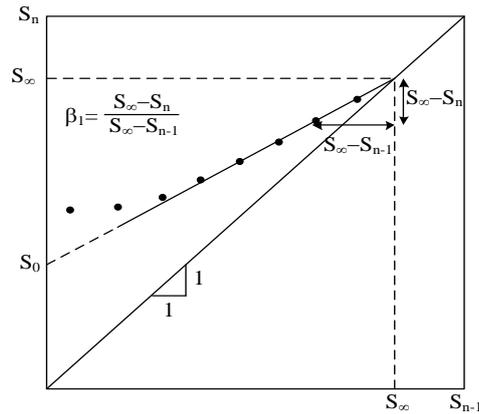
Prediksi penurunan akhir dari kurva waktu terhadap penurunan, diperoleh dengan memilih titik penurunan  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , sedemikian rupa sehingga  $S_n$  adalah penurunan pada waktu  $t_n$  dan interval waktu adalah konstan  $\Delta t = t_n - t_{n-1}$ . Kemudian, titik-titik ( $S_n, S_{n-1}$ ) tersebut diplot dalam grafik. Titik-titik tersebut akan membentuk garis lurus sehingga  $S_n = S_0 + \beta_1 S_{n-1}$ . Konstanta  $\beta_1$  merupakan gradien kemiringan dari kurva garis lurus di atas yang nilainya bisa dipergunakan untuk memperoleh koefisien konsolidasi vertikal menurut Persamaan 15.

$$c_{v-Asa.} = -\frac{4H_r^2 \ln \beta_1}{\pi^2 \Delta t} \quad (15)$$

$H_r$  adalah jarak drainase vertikal terjauh.



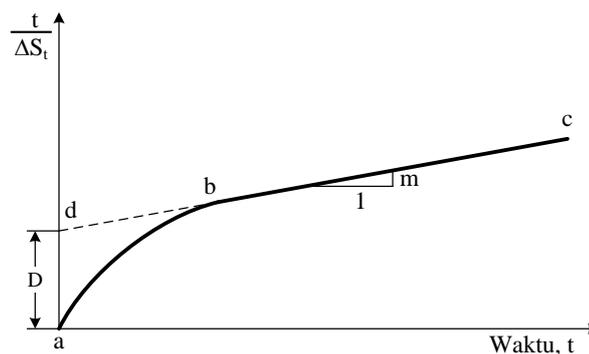
**Gambar 3.** Prosedur Analisis Data Monitoring Penurunan dengan Interval Waktu Konstan  
**Sumber:** (Magnan & Deroy dalam Nawir, Apoji, Fatimatuzahro, & Pamudji, 2012)



**Gambar 4.** Perkiraan Penurunan Akhir Berdasarkan Metode Asaoka  
**Sumber:** (Asaoka dalam Nawir, Apoji, Fatimatuzahro, & Pamudji, 2012)

#### 1.4 Metode *Rectangular Hyperbola*

Pada Metode *Rectangular Hyperbola*, hasil pengujian konsolidasi dapat di-plot ke dalam grafik hubungan  $t/\Delta S_t$  dengan  $t$  ( $t$  adalah waktu dan  $\Delta S_t$  adalah deformasi yang terjadi) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Grafik Hubungan  $t/\Delta S_t$  dengan  $t$   
**Sumber:** (Das, 2014)

Dari hubungan  $t/\Delta S_t$  dengan  $t$ , nilai  $c_v$  dapat diestimasi dengan mengidentifikasi porsi garis lurus, **bc**, yang diproyeksikan ke titik **d**. Tinggi perpotongan setinggi garis **bd** dengan sumbu  $t/\Delta S_t$  ditentukan sebesar  $D$ . Kemiringan dari garis **bc** adalah  $m$  dan nilai  $c_v$  dapat ditentukan dengan Persamaan 16.

$$c_{v-Hyp.} = 0,3 \left( \frac{mH_r^2}{D} \right) \quad (16)$$

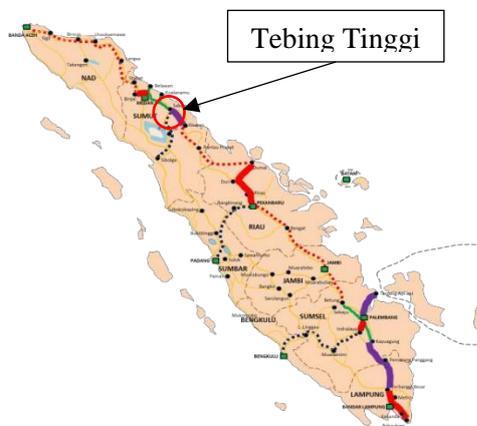
$H_r$  adalah panjang aliran maksimum. Satuan  $m$  adalah satuan panjang ( $L-1$ ) dan  $D$  adalah satuan waktu dan panjang ( $TL-1$ ). Sehingga satuan  $c_v$  ditentukan dengan Persamaan 17.

$$\frac{(L^{-1})(L^2)}{TL^{-1}} = L^2T^{-1} \quad (17)$$

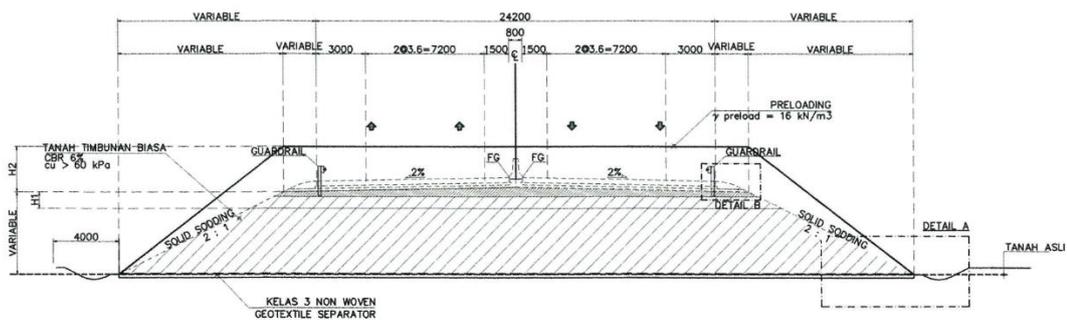
## 2. METODE

### 2.1 Lokasi

Lokasi area penanganan tanah dengan *Pre-Loading* yang ditinjau merupakan ruas jalan bebas hambatan yang berada di Tebing Tinggi Provinsi Sumatera Utara seperti pada Gambar 6. Tinggi timbunan *Pre-Loading* yang direncanakan untuk penanganan ini adalah minimal 3 m. Tipikal potongan melintang jalan utama dengan *Pre-Loading* pada Gambar 7. Dengan adanya penanganan untuk mempercepat penurunan akibat proses konsolidasi, diharapkan timbunan jalan bebas hambatan tersebut tidak mengalami penurunan yang melebihi batas yang ada pada kriteria desain setelah masa konstruksi selesai.



Gambar 6. Peta Lokasi Studi Kasus



Gambar 7. Tipikal Potongan Melintang Jalan Utama dengan *Pre-Loading*

### 2.2 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, data yang diambil seperti tersaji pada Tabel 3 adalah data tanah yang berada di lokasi penanganan timbunan *Pre-Loading*. Data penurunan SP dipilih pada STA yang terdekat dengan titik CPT dan memiliki data titik-titik penurunan yang lebih lengkap. Data hasil pengujian di laboratorium untuk analisa data CPT diperoleh dari data

pengeboran tanah dengan *Hand Boring* (HB) yang berada pada lokasi titik CPT. Hasil pengujian laboratorium dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 3.** Data CPT, *Hand Boring* (HB), *Settlement Plate* (SP), Tinggi Timbunan, Tinggi *Pre-Loading* dan Tebal Lapisan Kompresibel

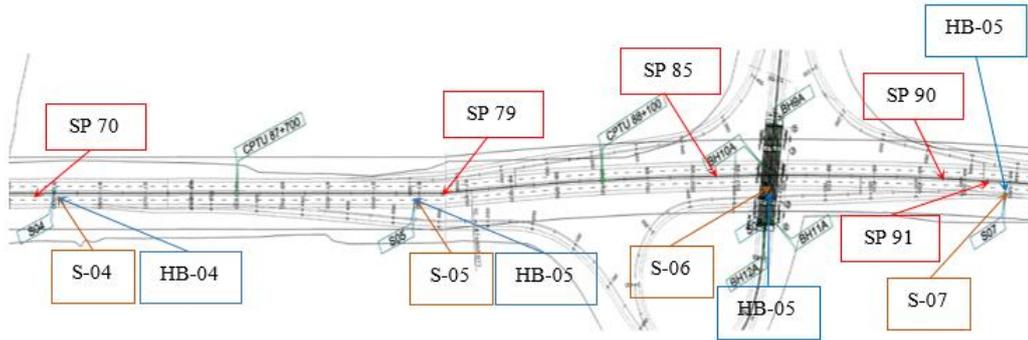
CPT	No. Titik		Tinggi Timbunan (m)	Tinggi Preloading (m)	Tebal Lapisan Kompresibel (m)
	HB	SP			
S-04	HB-04	SP 70	1,987	3,521	7
S-05	HB-05	SP 79	2,409	3,334	7
S-06	HB-06	SP 85	1,660	3,355	11
S-07 (1)	HB-07 (1)	SP 90	0,580	4,450	4
S-07 (2)	HB-07 (2)	SP 91	0,670	4,276	4

**Tabel 4.** Data Tanah Hasil Pengujian di Laboratorium untuk Tiap Sampel *Hand Boring* (HB) di Lapangan

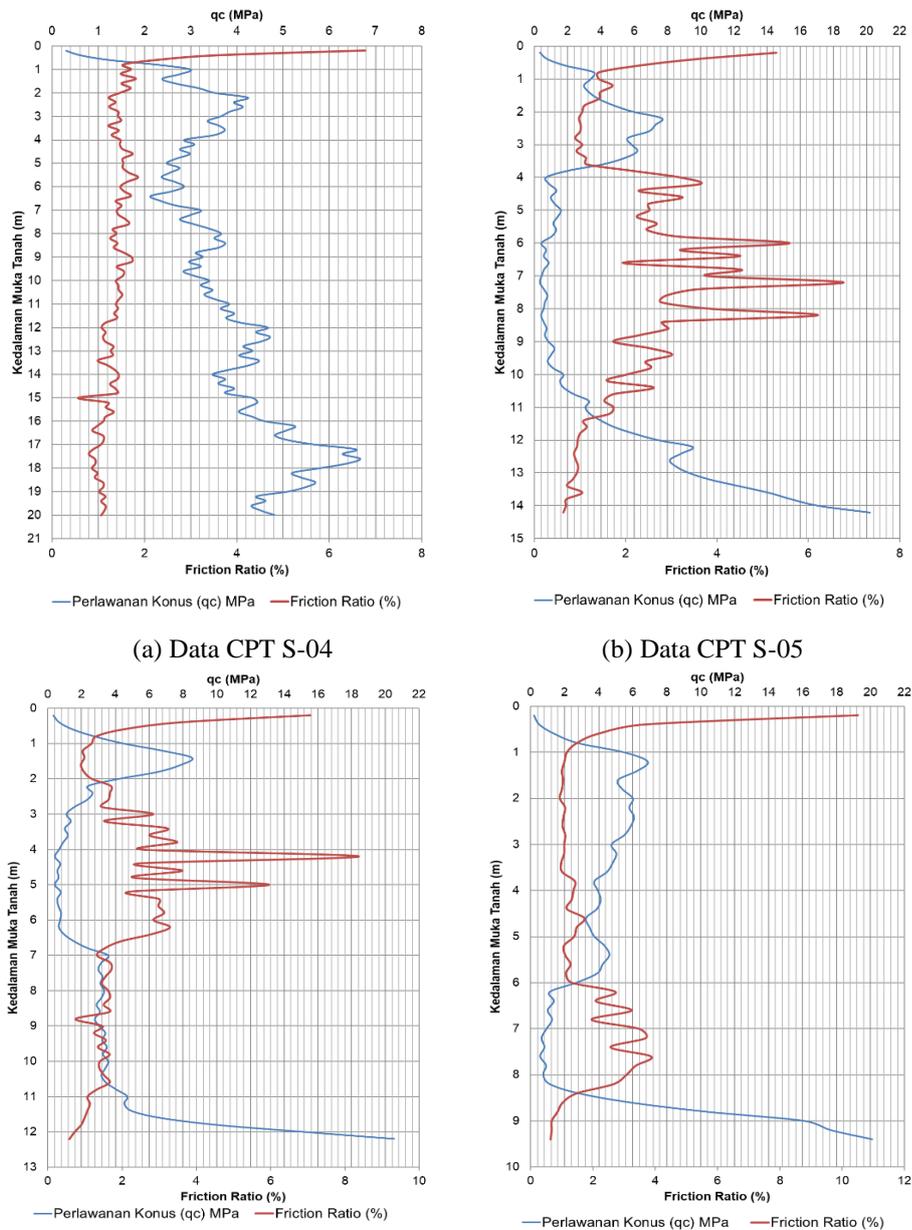
Bore No.	HB-04	HB-05	HB-06	HB-07	
					Kedalaman
<i>Moisture Content</i>	W (%)	34,95	35,66	44,30	35,95
<i>Natural Density</i>	$\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	15,71	16,54	15,60	16,49
<i>Dry Density</i>	$\gamma_d$ (kN /m <sup>3</sup> )	11,64	12,19	10,82	12,13
<i>Specific Gravity</i>	Gs	2,578	2,646	2,607	2,635
<i>Void Ratio</i>	E	1,173	1,128	1,364	1,130
<i>Porosity</i>	N	0,540	0,530	0,577	0,531
<i>Degree of Saturation</i>	Sr (%)	76,85	83,67	84,68	83,83
<b><u>Atterberg Limit Test</u></b>					
<i>Liquid Limit</i>	LL (%)	37,25	47,98	51,23	43,44
<i>Plastic Limit</i>	PL (%)	22,07	29,64	23,94	23,43
<i>Plastic Index</i>	PI (%)	15,19	18,34	27,29	20,01
<b><u>Consolidation Test</u></b>					
<i>In situ Void Ratio</i>	$e_o$	1,161	1,113	1,351	1,121
<i>Coefisien of Consolidation</i>	$c_v$ -Lab. (mm <sup>2</sup> /s)	2,32	0,545	1,26	0,854
<i>Compression Index</i>	Cc	0,299	0,374	0,832	0,498
<i>Permeability</i>	K (mm/s)	1,43E-05	1,99E-06	8,57E-06	3,75E-06

Untuk tanah timbunan dan *Pre-Loading*, digunakan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) sebesar 16 kN/m<sup>3</sup> dan dengan kohesi tanah ( $c_u$ ) sebesar 60 kN/m<sup>2</sup>.

Lokasi pengambilan data lapangan seperti pada Gambar 8 dan data CPT terdapat pada Gambar 9.



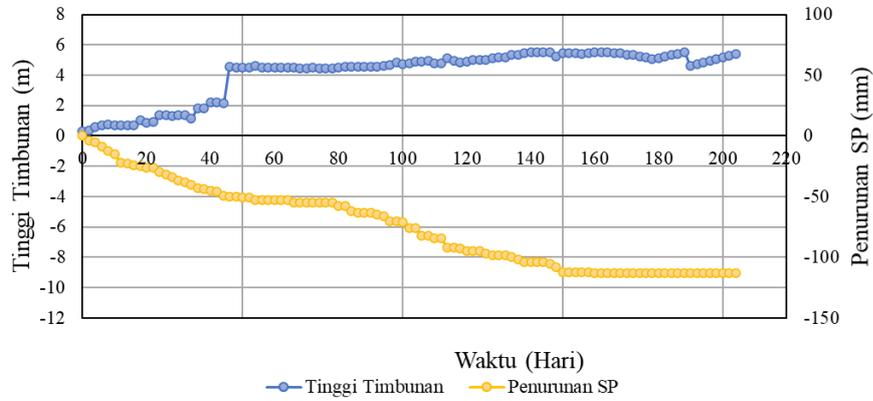
**Gambar 8.** Lokasi Titik Cone Penetration Test, Settlement Plate, dan Hand Boring



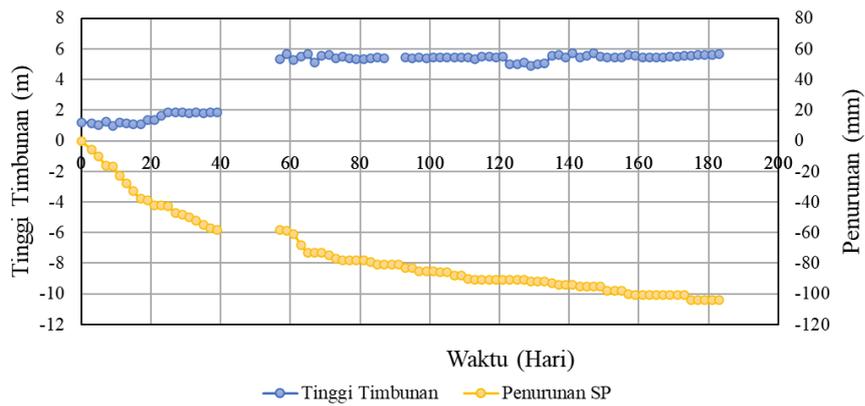
**Gambar 9.** Data CPT S-04, S-05, S-06 dan S-07

### 2.3 Data Timbunan Tanah dan Penurunan Aktual *Settlement Plate*

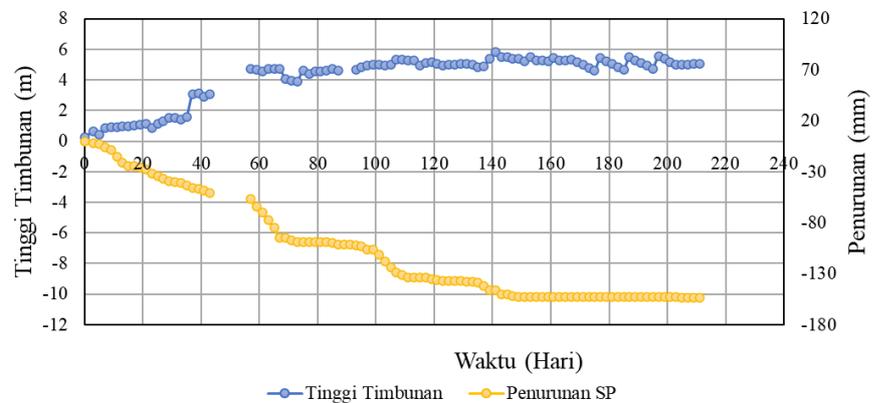
Data penimbunan tanah dan penurunan aktual instrumen *Settlement Plate* (SP) dapat dilihat pada Gambar 10 sampai dengan Gambar 14.



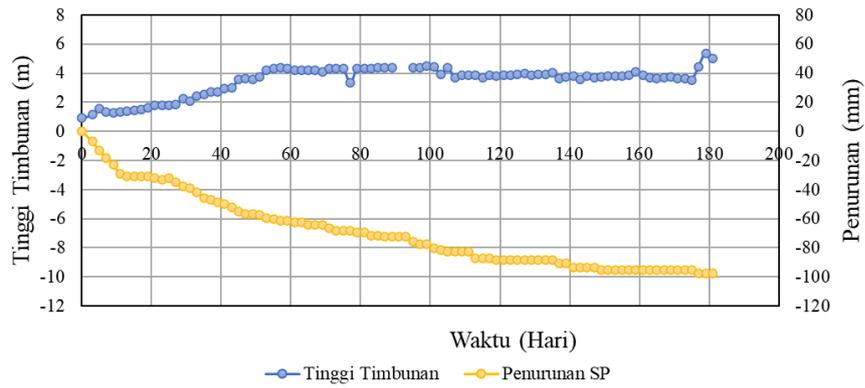
**Gambar 10.** Tinggi Timbunan dan Penurunan *Settlement Plate* SP 70



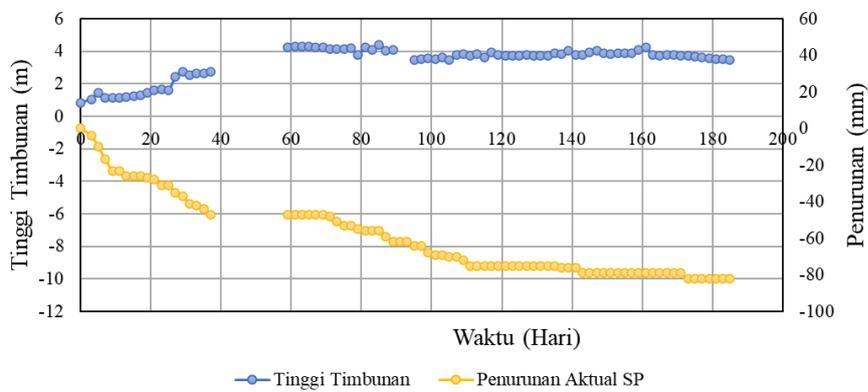
**Gambar 11.** Tinggi Timbunan dan Penurunan *Settlement Plate* SP 79



**Gambar 12.** Tinggi Timbunan dan Penurunan *Settlement Plate* SP 85



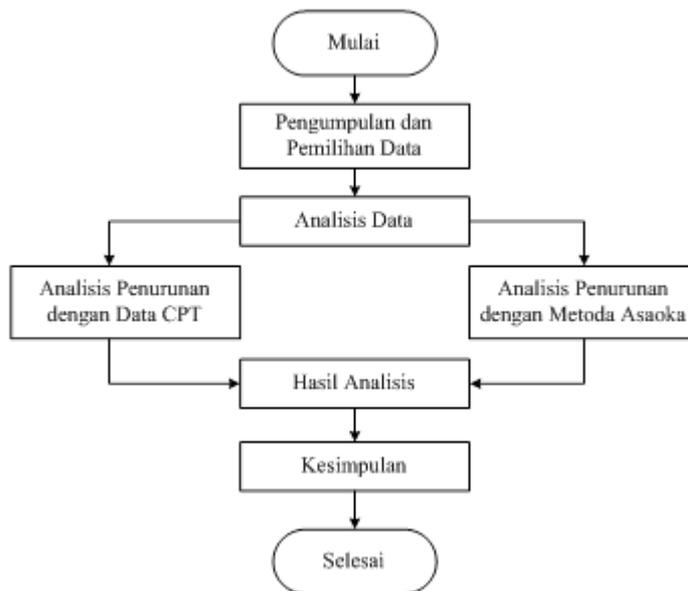
**Gambar 13.** Tinggi Timbunan dan Penurunan *Settlement Plate* SP 90



**Gambar 14.** Tinggi Timbunan dan Penurunan *Settlement Plate* SP 91

## 2.4 Diagram Alir

Metode yang dilakukan dalam studi ini diuraikan pada diagram alir Gambar 15.



**Gambar 15.** Diagram Alir Studi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisis Penurunan Tanah Berdasarkan Data CPT

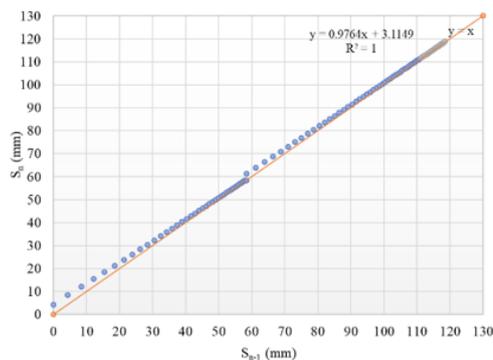
Penentuan prediksi penurunan tanah berdasarkan data CPT pada Tabel 5, deformasi tanah diasumsikan terjadi pada satu arah saja yaitu pada arah vertikal. Sedangkan jika dilihat pada kondisi sebenarnya, Nawir, Apoji, Fatimatuzahro, & Pamudji (2012) menyatakan deformasi tanah dapat terjadi pada segala arah sehingga deformasi yang terjadi akan terdistribusi yang menyebabkan nilai penurunan akan lebih kecil.

**Tabel 5.** Prediksi Penurunan Konsolidasi Berdasarkan Data CPT

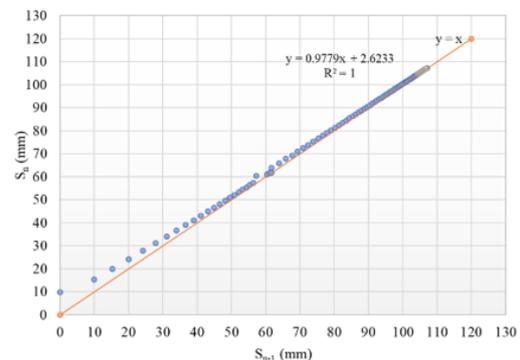
Titik	Tinggi Timbunan (m)	Tinggi Pre-Loading (m)	Tebal Lapisan Kompresibel (m)	Prediksi Penurunan Akhir (mm)
S-04	1,987	3,521	7	263
S-05	2,409	3,334	7	265
S-06	1,660	3,355	11	206
S-07 (1)	0,580	4,450	4	155
S-07 (2)	0,670	4,276	4	151

#### 3.2 Analisis Penurunan Tanah dengan Metode Asaoka

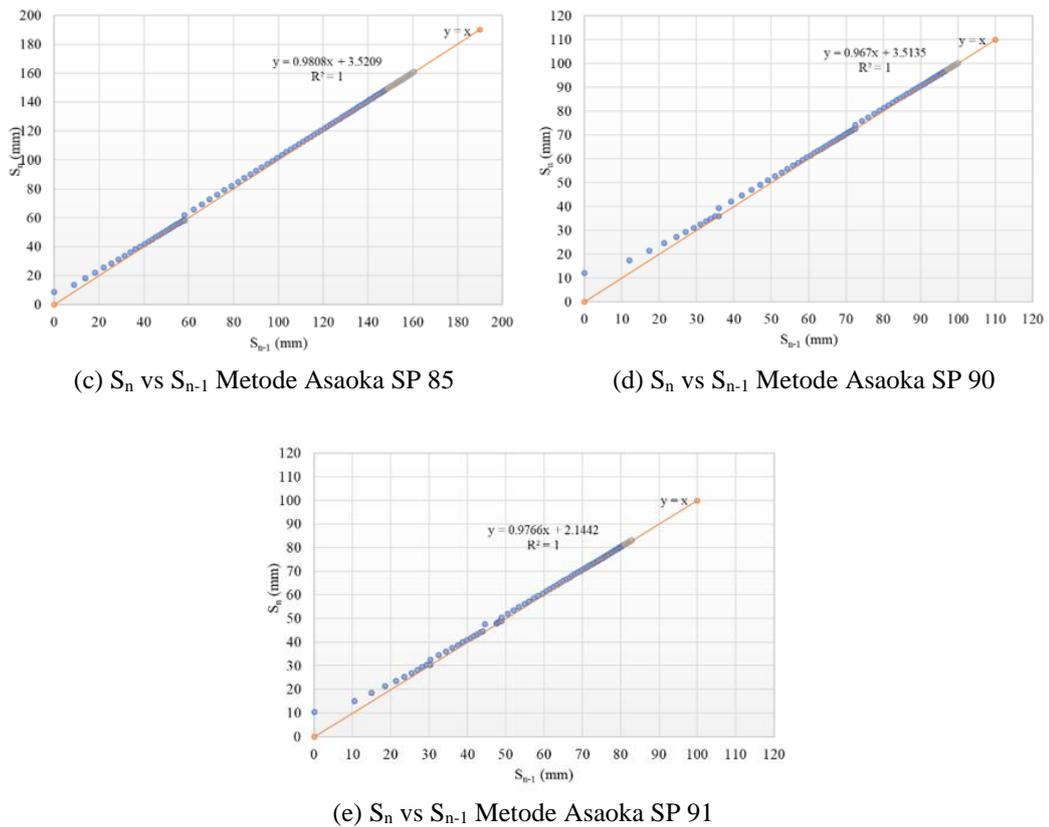
Analisis prediksi penurunan tanah dengan Metode Asaoka dilakukan berdasarkan prosedur observasi Asaoka yang telah diuraikan. Untuk menentukan titik-titik penurunan  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , dilakukan analisis tambahan dengan menggunakan Metode *Rectangular Hyperbola*. Dengan metode ini titik-titik penurunan ditentukan sedemikian rupa sehingga diperoleh nilai koefisien konsolidasi vertikal ( $c_{v-Hyp.}$ ) dari Metode *Rectangular Hyperbola* (Persamaan 16) dibuat sama atau mendekati dengan yang diperoleh dari Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ ) (Persamaan 15).



(a)  $S_n$  vs  $S_{n-1}$  Metode Asaoka SP 70



(b)  $S_n$  vs  $S_{n-1}$  Metode Asaoka SP 79



**Gambar 16.** Estimasi Penurunan Tanah Metode Asaoka SP 70, SP 79, SP 85, SP 90, dan SP 91

**Tabel 6.** Nilai  $\beta_t$ , Prediksi Penurunan Akhir ( $\rho_f$ ), Koefisien Konsolidasi Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ ), dan  $t_{90}$  untuk Tahap Timbunan Terakhir

No. <i>Settlement</i> <i>Plate</i>	$\beta_1$	$\rho_f$ (mm)	$c_{v-Asa.}$ (mm <sup>2</sup> /s)	$t_{90}$ (Bulan)
SP 70	0,9764	131,99	2,745	5,84
SP 79	0,9779	118,70	2,568	6,24
SP 85	0,9808	183,38	5,502	7,20
SP 90	0,9670	106,47	1,259	4,16
SP 91	0,9746	92,68	0,889	5,89

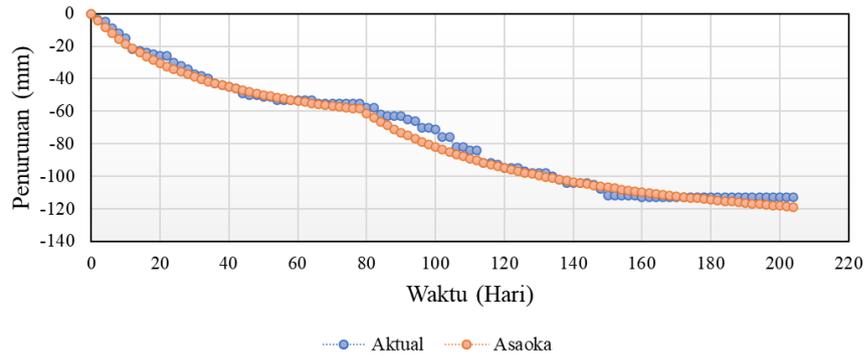
### 3.3 Perbandingan Kedua Metode Prediksi Penurunan

Dari analisis dan perhitungan dengan menggunakan kedua metode pada Tabel 7, yaitu dengan data CPT dan Metode Asaoka, diperoleh hasil prediksi penurunan yang berbeda-beda. Pada umumnya prediksi penurunan dari analisis dengan Metode Asaoka lebih kecil dibandingkan dengan analisis penurunan dengan data CPT. Analisis prediksi penurunan juga lebih mendekati penurunan aktual dari pengukuran penurunan instrumen SP di lapangan.

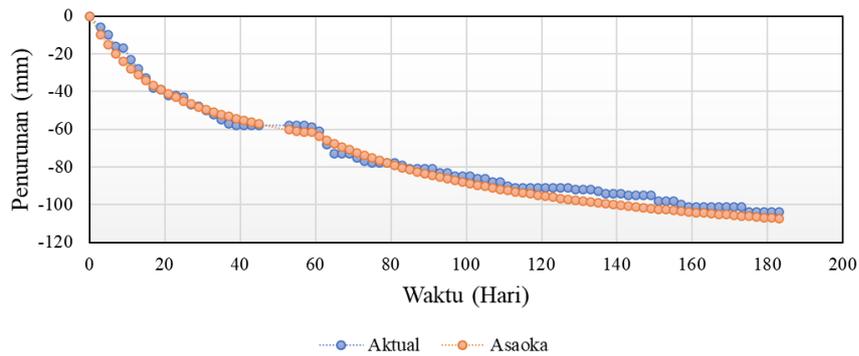
Perbandingan penurunan aktual dan penurunan dengan Metode Asaoka dalam bentuk kurva disampaikan pada Gambar 17.

**Tabel 7. Perbandingan Prediksi Penurunan Akhir**

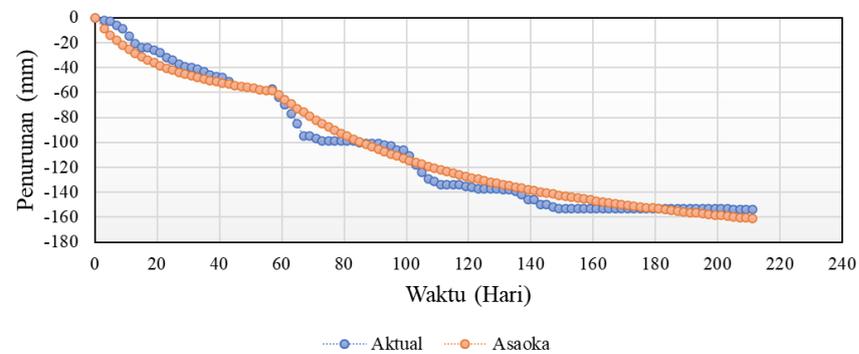
Titik	Prediksi Penurunan Akhir (mm)	
	CPT	Asaoka
S-04 dan SP 70	262,71	131,99
S-05 dan SP 79	264,72	118,70
S-06 dan SP 85	205,90	183,38
S-07 (1) dan SP 90	154,61	106,47
S-07 (2) dan SP 91	150,92	91,63



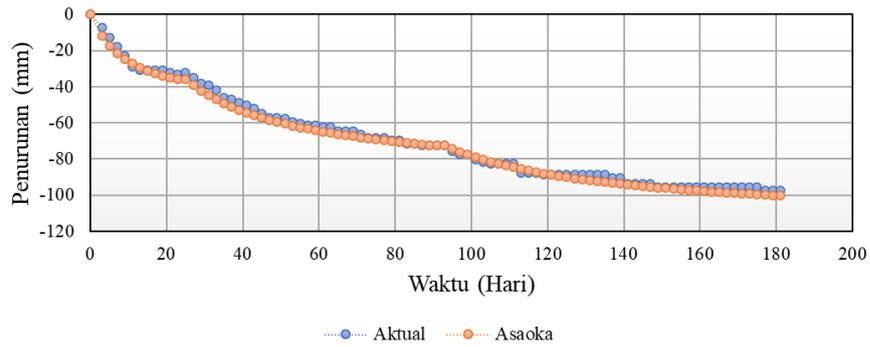
(a) Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 70



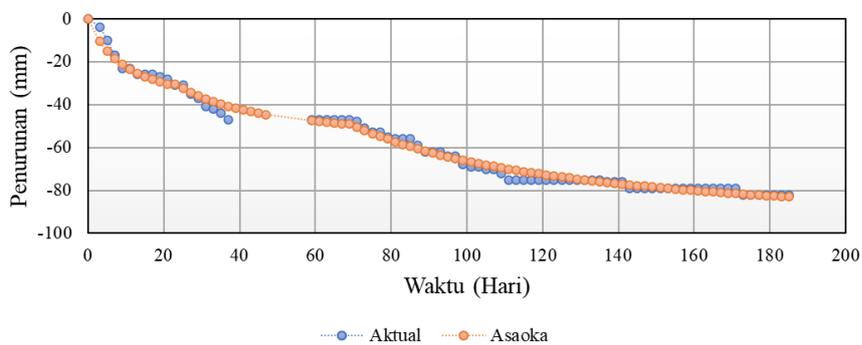
(b) Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 79



(c) Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 85



(d) Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 90



(e) Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 91

**Gambar 17.** Kurva Hasil Analisis Perbandingan Penurunan Aktual dan Penurunan dengan Metode Asaoka di SP 70, SP 79, SP 85, SP 90 dan SP 91

### 3.4 Perbandingan Koefisien Konsolidasi Hasil Pengujian Laboratorium dengan Metode Asaoka

Tabel 8 menunjukkan perbandingan koefisien konsolidasi ( $c_v$ ) yang diperoleh dari hasil pengujian laboratorium ( $c_{v-Lab.}$ ) dan analisis dengan Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ ). Nilai koefisien konsolidasi ini akan menentukan berapa lama waktu tunggu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi dan untuk melakukan galian timbunan *Pre-Loading* sehingga penurunan setelah masa konstruksi masih memenuhi kriteria desain.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada lokasi HB-04 dan SP 70 serta HB-07 dan SP 91 menunjukkan nilai yang mendekati, sedangkan pada HB-05 dan SP 79 serta HB-06 dan SP 85 menunjukkan perbedaan nilai yang jauh. Rata-rata perbandingan koefisien konsolidasi  $c_{v-Lab.}$  dan  $c_{v-Asa.}$  adalah 58,5%.

**Tabel 8.** Perbandingan Koefisien Konsolidasi dari Hasil Uji Laboratorium ( $c_{v-Lab.}$ ) dan Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ )

No. Hand Boring	No. Settlement Plate	Koefisien Konsolidasi		
		$c_{v-Lab.}$ (mm <sup>2</sup> /s)	$c_{v-Asa.}$ (mm <sup>2</sup> /s)	$c_{v-Lab.}/c_{v-Asa.}$
HB-04	SP 70	2,320	2,745	84,5%
HB-05	SP 79	0,545	2,568	21,2%
HB-06	SP 85	1,260	5,502	22,9%
HB-07 (1)	SP 90	0,854	1,259	67,8%
HB-07 (2)	SP 91	0,854	0,889	96,1%
<b>Rata-rata <math>c_{v-Lab.}/c_{v-Asa.}</math></b>			<b>58,5%</b>	

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Prediksi penurunan akhir yang terjadi dari analisis penurunan secara empiris dengan menggunakan data CPT lebih besar dari pada prediksi penurunan yang diperoleh dari analisis dengan Metode Asaoka.
2. Prediksi penurunan akhir dengan Metode Asaoka lebih mendekati penurunan aktual dari pengukuran penurunan instrumen *Settlement Plate* di lapangan.
3. Hasil analisis untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi ( $c_v$ ) menunjukkan bahwa pada lokasi HB-04 dan SP 70 serta HB-07 dan SP 91 menunjukkan nilai yang mendekati, sedangkan pada HB-05 dan SP 79 serta HB-06 dan SP 85 menunjukkan perbedaan nilai yang jauh. Rata-rata perbandingan koefisien konsolidasi dari hasil pengujian laboratorium ( $c_{v-Lab.}$ ) dan hasil dengan Metode Asaoka ( $c_{v-Asa.}$ ) adalah 58,5%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Asaoka, A. (1978). *Observational Procedure of Settlement Prediction. Soil and Foundation*, Vol. 18, No.4.
- Das, B. M. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering Eighth Edition*, SI. Stamford: Cengage Learning.
- Desiani, A. (2018). Kompresibilitas Tanah Organik. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 14, No.1, 26-44.
- Desiani, A., & Redjasentana, S. (2012). Stabilitas Tanah Lempung Menggunakan Soil Binder. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 8, No. 1, 61-74.
- Ibrahim, F., Sandjaja, G., & Kawanda, K. (2019). Studi Kasus Perbandingan Analisis Penurunan Akibat Timbunan, di Tangerang, Banten. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, Vol. 2, No. 2, 85-94.
- Lune, T., Robertson, P. K., & Powel, J. J. (1997). *Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice*. London: Blackie Academic & Professional/Chapman-Hall Publishers.

- Nawir, H., Apoji, D., Fatimatuzahro, R., & Pamudji, M. D. (2012). Prediksi Penurunan Tanah Menggunakan Prosedur Observasi Asaoka Studi Kasus: Timbunan di Bontang, Kalimantan Timur. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 19, 133-148.
- Prakoso, A., Mukhlisin, M., Rahardjo, P., & Junaidi. (2019). Analisis Penurunan Timbunan Tanah Silt Pada Proyek Jalan Ruas Giriwoyo-Duwet Wonogiri. *Wahana Teknik Sipil*, Vol. 24, No.2, 153-165.
- Sari, P. T., Endah, N., & Yogyanta, D. A. (2017). Consolidation Parameters Evaluation of Cohesive Soil in Liangggam, Kalimantan Indonesia Using CPT Data. *International Journal of Current Research*, Vol. 9, Issue, 10, pp.58509-58513.
- Schertmann, J. (1977). *Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design*. Washington: Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Offices of Research and Development, Implementation Division.