

Analisa Penurunan Konsolidasi Dengan Metode *Preloading* Kombinasi *Pvd* Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Balikpapan – Samarinda Sta 47+300

Bilal Al Huda¹⁾, Kukuh Prihatin²⁾, Raudah Ahmad³⁾

Bilalalhuda13@gmail.com¹⁾; Kukuh_prihatin@polnes.ac.id²⁾; Raudah@polnes.ac.id³⁾;
Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda
Jl. Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Panjang, Kota Samarinda 75131,
Kalimantan Timur, Indonesia

Koresponden naskah : Kukuh_prihatin@polnes.ac.id

SUBMITTED Mei 4, 2022 | REVISED Mei 15, 2022 | ACCEPTED Mei 25, 2022

ABSTRACT

The Balikpapan – Samarinda freeway is the first freeway on the island of Kalimantan which has a length of 99.02 kilometers. The Balikpapan – Samarinda freeway construction project is divided into five sections. In one of the sections, namely section 2.2, which is located in Batuah Village, Loa Janan sub-district, there are subgrade problems which generally consist of a layer of soft soil, this soil has a low bearing capacity and large settlement when given a load. This research study was conducted to find the magnitude and time for consolidation settlement using the PVD combination preloading method and to find the safety factor of embankment with geotextile reinforcement using the Geoslope program. From the calculation results, the design load is 2.79 t/m², the preloading embankment height is 1.70 m and the design embankment height is 11.70 m. The amount of consolidation settlement is 0.325 m with a settlement period of 7,91 years. The planned PVD depth is 8.50 m. The length of time for soil settlement with a combination of PVD is 60 days, the most efficient PVD installation is a triangular pattern with a distance of 1.60 m, the stability analysis of embankment with geotextile reinforcement obtained a safety factor of internal stability 2.21 > 1.5 (safe), foundation stability 2.53 > 1.5 (safe), overall stability with GeoSlope program 1,385 > 1.3 (safe), the required geotextile tensile strength is 1502.7 KN/m and the geotextile tensile strength used is 1600 KN/m.

Keywords: soft soil, preloading method, prefabricated vertical drain (PVD), geotextile, Geoslope

ABSTRAK

Jalan tol Balikpapan – Samarinda merupakan jalan tol pertama di Pulau Kalimantan yang memiliki panjang ruas jalan 99,02 kilometer. Proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda terbagi menjadi lima seksi. Pada salah satu seksi, yaitu seksi 2.2 yang terletak di Desa Batuah Kecamatan Loa Janan ditemui permasalahan tanah dasar yang umumnya terdiri dari lapisan tanah lunak, tanah ini memiliki daya dukung rendah dan penurunan yang besar jika diberi beban. Studi penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar dan waktu penurunan konsolidasi metode preloading kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) serta untuk mengetahui angka keamanan timbunan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program Geoslope. Dari hasil perhitungan diperoleh beban rencana 2,79 t/m², tinggi timbunan preloading 1,70 m dan tinggi timbunan rencana 11,70 m. Besar penurunan konsolidasi adalah 0,325 m dengan waktu penurunan 7,91 tahun. Kedalaman PVD direncanakan sepanjang 8,50 m. Lama waktu penurunan tanah dengan kombinasi PVD adalah 60 hari, pemasangan PVD yang paling efisien adalah pola segitiga dengan jarak 1,60 m, analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil diperoleh angka keamanan stabilitas internal 2,21 > 1,5 (aman), stabilitas terhadap pondasi 2,53 > 1,5 (aman), Stabilitas menyeluruh dengan program GeoSlope 1,385 > 1,3 (aman), kuat tarik geotekstil yang dibutuhkan adalah 1502,7 KN/m dan kuat tarik geotekstil yang digunakan adalah 1600 KN/m.

Kata kunci : tanah lunak, metode preloading, prefabricated vertical drain (PVD), geotekstil, Geoslope

1. PENDAHULUAN

Jalan tol Balikpapan – Samarinda merupakan jalan tol pertama di Pulau Kalimantan yang memiliki panjang ruas jalan 99,02 kilometer. Proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda terbagi menjadi lima seksi. Pada salah satu seksi, yaitu seksi 2.2 yang terletak di Desa

Batuah Kecamatan Loa Janan ditemui permasalahan tanah dasar yang umumnya terdiri dari lapisan tanah lunak, tanah ini memiliki

daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar jika diberi beban.

Berdasarkan hal tersebut diperlukan suatu metode perbaikan tanah untuk mengatasi masalah ini. Salah satu metode yang pada umumnya digunakan untuk mengatasi masalah pada tanah lunak adalah pembebanan awal (*preloading*) yaitu, metode perbaikan tanah dengan cara memberikan tambahan beban pada lokasi dimana akan dibangun konstruksi permanen hingga proses konsolidasi yang diinginkan tercapai, yaitu tercapainya penurunan primer (*primary settlement*).

Oleh karena itu, studi penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besar dan lamanya waktu penurunan konsolidasi metode *preloading* kombinasi *Prefabricated Vertical Drain (PVD)* serta untuk mengetahui angka keamanan timbunan dengan kekuatan geotekstil menggunakan program *Geoslope*.

2. LANDASAN TEORI

A. Konsolidasi Tanah

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermabilitas rendah akibat pembebanan, dimana prosesnya dipengaruhi oleh kecepatan terperasnya air pori keluar dari rongga tanah.

Penurunan konsolidasi terjadi pada tanah berbutir halus yang terletak di bawah muka air tanah. Penurunan yang terjadi memerlukan waktu, yang lamanya tergantung pada kondisi lapisan tanah. Secara umum, penurunan pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi tiga komponen, yaitu :

1. Penurunan seketika merupakan penurunan yang terjadi seketika saat beban diberikan
2. Penurunan Konsolidasi adalah penurunan pada tanah kohesif yang diakibatkan terdisipasinya tegangan air berlebih di dalam tanah, dan akhirnya menghasilkan perubahan dari segi volume.
3. Penurunan Rangkak merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi.

B. Penurunan Konsolidasi/Primer (*Consolidation Settlement*)

Penambahan beban di atas suatu lapisan tanah jenuh air menyebabkan tekanan air pori meningkat dan mengakibatkan air berusaha mengalir keluar dari pori-pori tanah sehingga volumenya akan berkurang. Penurunan tanah tersebut disebut sebagai penurunan konsolidasi/primer.

Menurut Das (1995), besar penurunan konsolidasi pada lapisan tanah lempung setebal H dapat dihitung dengan persamaan :

1. Untuk NC-Soil

$$Sc = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (1)$$

2. Untuk OC-Soil

bila $P_o + \Delta p < P_c$, maka :

$$Sc = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (2)$$

bila $P_o + \Delta p > P_c$, maka :

$$Sc = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o} \quad (3)$$

C. Kecepatan Dan Waktu Penurunan Konsolidasi

Terzaghi (1925) dalam Das (1995) memperkenalkan teori pertama kali untuk memperhitungkan kecepatan konsolidasi satu dimensi untuk tanah lempung yang jenuh air. Berikut adalah asumsi - asumsi yang digunakan dalam melakukan perhitungan :

1. campuran lempung dan air homogen,
2. tanah benar – benar jenuh,
3. kemampumampatan air diabaikan,
4. kemampumampatan butiran tanah diabaikan,
5. aliran air hanya satu arah saja, yaitu searah pembebanan,
6. hukum Darcy berlaku.

Menurut Terzaghi (1943) dalam Das (1995), lamanya waktu penurunan konsolidasi dapat dihitung menggunakan rumus :

$$t = \frac{T_v \times Hdr^2}{C_v} \quad (4)$$

D. Percepatan Waktu Penurunan Konsolidasi

Penurunan yang direncanakan dapat membutuhkan waktu yang sangat lama, sehingga dibutuhkan percepatan waktu penurunan dalam proses konsolidasi tanah. Metode yang digunakan untuk mempercepat waktu konsolidasi adalah dengan menggunakan metode *Preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain*.

1. Drainase vertikal dengan prapembebanan (*preloading*)

Pada tanah yang lunak, mudah mampat dan tebal, biasanya diperlukan suatu metode pembebanan sebelum pelaksanaan konstruksi itu sendiri. Metode itulah yang selama ini dikenal dengan metode prapembebanan atau *preloading*. Metode ini berupa tanah yang ditimbun di atas permukaan tanah yang lunak sebagai pengganti beban lalu lintas.

Metode *preloading* ini dimaksudkan untuk mereduksi penurunan konsolidasi primer, yaitu dengan membebani tanah terlebih dahulu sebelum pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Setelah total penurunan konsolidasi primer selesai atau sangat kecil, barulah beban tanah dikupas atau dibongkar (*unloading*) dan struktur dibangun di atas tanah tersebut. Waktu pembongkaran timbunan biasanya

disesuaikan dengan akan dimulainya pekerjaan perkerasan jalan.

Timbunan *preloading* harus direncanakan sesuai dengan beban konstruksi dan beban kerja (lalu-lintas)

yang akan berada diatas tanah dasar. Menurut Panduan Geoteknik 4 (2001), beban lalu lintas untuk perencanaan timbunan *preloading* bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Beban Lalu Lintas

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas
	(kPa)
I	15
II	12
III	12

Sumber: Panduan Geoteknik 4 (2001)

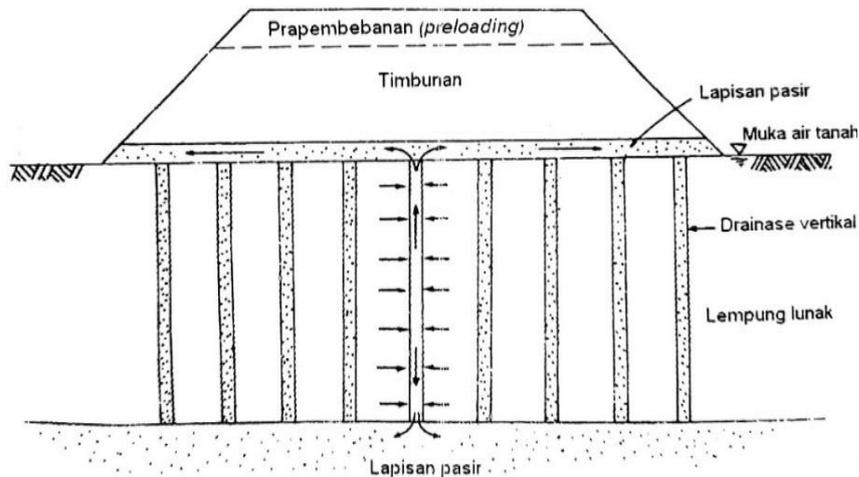
Adapun cara untuk menghitung tinggi timbunan *preloading* dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini :

$$\Delta H = \left(\frac{\text{Beban Total}}{\gamma_{\text{timbunan}}} \right) \quad (5)$$

2. Prefabricated Vertical Drain

Kecepatan konsolidasi tanah-tanah berbutir halus seperti lempung dan tanah yang mudah

mampat lainnya dapat dipercepat dengan menggunakan *vertical drain* yang berupa *PVD* yang ditanam secara vertikal didalam tanah. *Vertical drain* ini memberikan lintasan air pori yang lebih pendek kearah horisontal. Jarak drainase arah horisontal yang lebih pendek menambah kecepatan proses konsolidasi beberapa kali lebih cepat.



Gambar 1. Skema struktur drainase vertikal

Sumber : Hardiyatmo (2008)

Adapun untuk menghitung waktu penurunan konsolidasi dengan *PVD* dapat dihitung dengan langkah – langkah berikut :

- menghitung nilai koefisien konsolidasi horizontal (C_h)
- menghitung nilai derajat konsolidasi vertikal (U_v)
- menghitung faktor waktu horizontal (T_h)
- menghitung nilai derajat konsolidasi horizontal (U_h)
- menghitung nilai derajat konsolidasi total (U)
- menghitung total konsolidasi (S_c) pada waktu ke-n

E. Stabilisasi Timbunan Diatas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Geotekstil

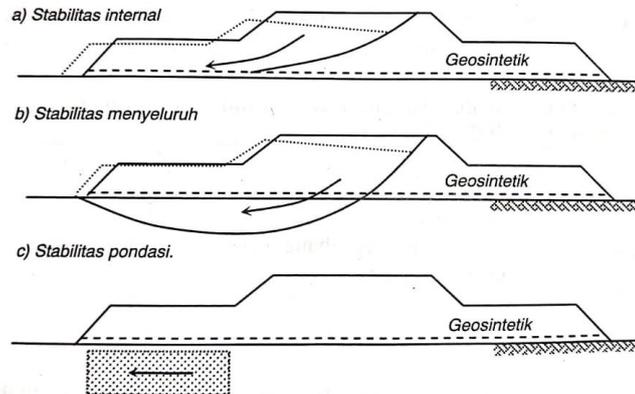
Timbunan yang dibangun pada tanah lunak mempunyai kecenderungan bergerak kearah lateral

akibat tekanan tanah horizontal yang bekerja pada timbunan. Tekanan horizontal ini menyebabkan timbulnya tegangan geser pada dasar timbunan yang harus ditahan oleh tanah pondasi yang lunak. Jika tanah pondasi tidak menahan tegangan geser, maka timbunan dapat mengalami keruntuhan. Untuk mengatasi hal ini, dasar timbunan dapat dipasang

geotekstil dengan tarik tinggi yang berguna untuk menambah stabilitas timbunan.

Dalam kasus stabilitas timbunan diatas tanah lunak, Jewell (1988) dalam Hardiyatmo (2013)

menyarankan tiga mekanisme keruntuhan pada timbunan bertulang yang terletak pada tanah lunak yaitu stabilitas internal, stabilitas menyeluruh dan stabilitas pondasi.



Gambar 2. Mekanisme keruntuhan timbunan bertulang pada tanah lunak (Jewell, 1988)
Sumber: Hardiyatmo (2013)

F. Geotekstil

Geotekstil adalah material lembaran yang dibuat dari bahan tekstil polymeric, bersifat lolos air yang dapat berbentuk bahan nir-anyam (non woven), rajutan (woven) yang digunakan dalam kontak dengan tanah / batu atau material geoteknik yang lain didalam aplikasi teknik sipil. Fungsi – fungsi geotekstil meliputi:

1. Pemisah atau separasi (Separator)
2. Filtrasi
3. Drainase
4. Perkuatan atau tulangan (reinforcement)
5. Proteksi
6. Gabungan dari fungsi-fungsi tersebut.

G. Program Geoslope

GeoSlope adalah program yang dibuat untuk analisis permodelan yang berhubungan dengan geoteknik. *GeoSlope* diprogramkan untuk menganalisis stabilitas dari lereng atau talud.

GeoSlope memiliki beberapa subprogram, yaitu Slope/W, Seep/W, Sigma/W, Quake/W, Temp/W, dan Ctran/W. Subprogram tersebut memiliki fungsi yang berbeda-beda.

Slope/W merupakan program untuk menghitung faktor keamanan lereng dan kemiringan batuan. Dengan Slope/W kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring.

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini terletak pada proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda seksi 2.2 yang terletak di Desa Batuah Kecamatan Loa Janan. Lokasi diambil dari *Google Earth*, selengkapnya dapat dilihat pada **Gambar 3.** dibawah ini :



Gambar 3. Peta Lokasi
Sumber: *Google Earth*

B. Pengumpulan Data

Penelitian dimulai dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan, yaitu segala jenis data yang diperlukan untuk menunjang proses penelitian. Data-data yang diperoleh merupakan data sekunder dari PT. Wijaya Karya selaku kontraktor proyek pembangunan jalan tol Balikpapan-Samarinda. Adapun data-data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Gambar potongan melintang
2. Data tanah dasar,
3. Data tanah timbunan,
4. Data spesifikasi PVD
5. Data spesifikasi geotekstil

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Umum

Analisa penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi *PVD* pada proyek pembangunan jalan tol Balikpapan - Samarinda STA

47+300 dilakukan untuk mengetahui besar dan lamanya waktu penurunan tanah serta untuk mengetahui angka keamanan timbunan dengan kekuatan geotekstil.

Pada perhitungan penurunan konsolidasi metode *preloading* terdapat dua perbandingan perhitungan yaitu metode *preloading* tanpa *PVD* dan dengan menggunakan *PVD*. Selain itu juga dilakukan analisis stabilitas kelongsoran timbunan menggunakan program *Geoslope* untuk memeriksa stabilitas kelongsoran timbunan.

B. Data Tanah Dan Gambar Potongan Melintang

Data tanah yang digunakan merupakan data hasil pengujian laboratorium dan gambar potongan melintang digunakan untuk mengetahui dan memodelkan lapisan tanah ke dalam program *Geoslope*. Adapun data tanah ditunjukkan pada **Tabel 2.** dibawah ini :

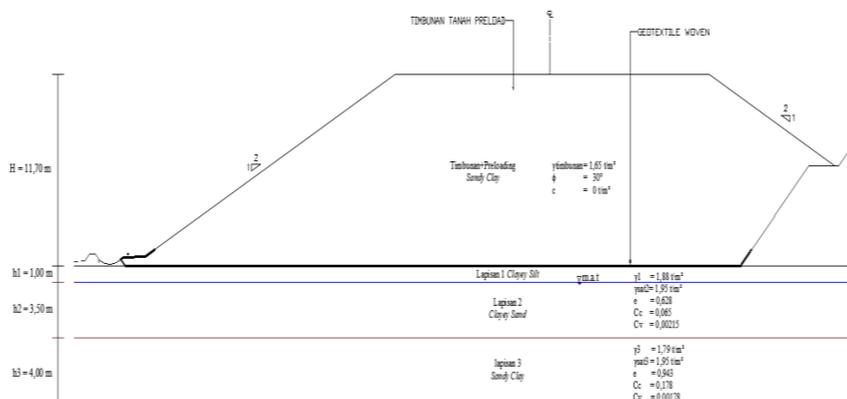
Tabel 2. Data tanah yang digunakan

Parameter Tanah	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Timbunan + Preloading
Jenis Tanah	-	Clayey Silt	Clayey Sand	Sandy Clay	Sandy Clay
H	m	1	3.5	4	-
γ_{unsat}	t/m ³	1.88	1.88	1.79	1.65
γ_{sat}	t/m ³	-	1.95	1.86	-
C	t/m ²	0.85	0.85	1.80	0
Φ	°	28.86	28.86	5.26	30
Cv	cm ² /det	0.00215	0.00215	0.00178	-
Cc	-	0.065	0.065	0.178	-
E	-	0.628	0.628	0.943	-
Gs	-	2.550	2.550	2.670	-

Sumber: PT. Wijaya Karya

Gambar permodelan lapisan tanah yang digunakan pada perhitungan analisa penurunan konsolidasi

dapat dilihat pada **Gambar 5.** sebagai berikut :



Gambar 5. Permodelan lapisan tanah

C. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Dengan Metode Preloading

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* merupakan penurunan tanah yang disebabkan oleh adanya penambahan beban awal berupa tanah timbunan sebagai pengganti beban konstruksi dan beban kerja (lalu-lintas).

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* terdiri dari perhitungan tinggi timbunan *preloading*, tegangan *overburden* efektif, perhitungan tegangan akibat beban timbunan, perhitungan besar penurunan dan perhitungan lama waktu penurunan. Adapun perhitungan konsolidasi tanah dengan metode *preloading* ialah sebagai berikut:

1. Perhitungan Timbunan *Preloading* (ΔH)

Berikut ini adalah perhitungan pembebanan untuk menentukan tinggi timbunan *preloading*:

a. Beban Perkerasan

$$\begin{aligned} \text{Berat perkerasan beton} &= 0,3 \times 2,4 \\ &= 0,72 \text{ t/m}^2 \\ \text{Berat lean concrete} &= 0,1 \times 2,4 \\ &= 0,24 \text{ t/m}^2 \\ \text{Berat lapis pondasi agregat} &= 0,15 \times 2,2 \\ &= 0,33 \text{ t/m}^2 \\ \text{Berat total perkerasan} &= 0,72 + 0,24 + 0,33 \\ &= 1,29 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban Kendaraan (lalu-lintas)

$$\text{Beban lalu-lintas} = 1,5 \text{ t/m}^2 \text{ (Tabel 2.3)}$$

c. Beban Total

$$\begin{aligned} \text{Beban total} &= \text{Beban perkerasan} + \text{Beban lalu-lintas} \\ &= 1,29 + 1,5 \\ &= 2,79 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

d. Perhitungan Tinggi Timbunan *Preloading*

Berikut ini adalah perhitungan tinggi timbunan *preloading*:

$$\begin{aligned} \Delta H &= \left(\frac{\text{Beban Total}}{\gamma_{\text{timbunan}}} \right) \\ \Delta H &= (2,79 / 1,65) \\ &= 1,69 \text{ m} \sim 1,70 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Perhitungan Tegangan *Overburden* Efektif (P_o)

Berikut adalah contoh perhitungan tegangan *overburden* efektif pada lapisan 2 ($z = 3,5 \text{ m}$):

$$\begin{aligned} P_o &= \gamma_1 \cdot h_1 + \gamma_2' \cdot h_2 / 2 \\ &= \gamma_1 \cdot h_1 + (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w) \cdot h_2 / 2 \\ &= 1,88 \cdot 1 + (1,952 - 1) \cdot 3,5 / 2 \\ &= 1,88 + 1,67 \\ &= 3,55 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan *overburden* efektif ditunjukkan dalam **Tabel 3.** dibawah ini :

Tabel 3. Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan *overburden* efektif

Lapisan	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)	γ' (t/m ³)	H (m)	P_o (t/m ²)
2	1.88	1.95	0.95	3.50	3.55
3	1.79	1.86	0.86	4.00	6.93
	Total				10.48

Sumber: Hasil perhitungan

3. Perhitungan Tegangan Akibat Beban Timbunan (Δp)

$$\Delta p = 2 \cdot q_0 \cdot I$$

Dihitung lebih dulu,

$$\begin{aligned} q_0 &= \gamma_{\text{timbunan}} \cdot H \\ &= \gamma_{\text{timbunan}} \cdot (H \text{ timbunan} + H \text{ preloading}) \\ &= 1,65 \cdot (10,00 + 1,70) \\ &= 19,31 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Dari grafik Osterberg, 1957, didapat nilai I yang sama yaitu 0,5. Jadi, besarnya tambahan tegangan pada kedalaman 1 m, adalah :

$$\begin{aligned} \Delta p &= 2 \cdot q_0 \cdot I \\ &= 2 \cdot 19,31 \cdot 0,5 = 19,31 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan akibat beban timbunan ditunjukkan pada **Tabel 4.** di bawah ini :

Tabel 4. Rekapitulasi hasil perhitungan tegangan akibat beban timbunan

Lapisan	I	q_0 (t/m ²)	$\Delta P = 2 \cdot q_0 \cdot I$ (t/m ²)
2	0.5	19.31	19.31
3	0.5	19.31	19.31
	Total		38,62

Sumber: Hasil perhitungan

4. Perhitungan Besar Penurunan (Sc)

Berikut akan diberikan contoh perhitungan besar penurunan pada lapisan 2 (z = 3,5 m):

Menghitung besar penurunan (Sc):

$$S_c = \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_o + \Delta p}{P_o}$$

$$= \frac{0,065 \cdot 3,5}{1 + 0,628} \cdot \log \frac{1,95 + 19,31}{3,33}$$

$$= 0,113 \text{ m}$$

Rekapitulasi hasil perhitungan besar penurunan ditunjukkan pada **Tabel 5.** di bawah ini :

Tabel 5. Rekapitulasi hasil perhitungan besar penurunan

Lapisan	H (m)	Po (t/m ²)	ΔP (t/m ²)	Cc	e ₀	Sc (m)
2	3,5	3,55	19,310	0,065	0,628	0,113
3	4	6,93	19,310	0,178	0,943	0,212
Total						0,325

Sumber: Hasil Perhitungan

6. Perhitungan Waktu Penurunan (t)

Berikut ialah perhitungan waktu penurunan konsolidasi :

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_2 + H_3)^2}{\left(\frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} \right)^2}$$

$$= \frac{(350 + 400)^2}{\left(\frac{350}{\sqrt{0,00215}} + \frac{400}{\sqrt{0,00178}} \right)^2}$$

$$= 0,001939 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$= 6,03 \text{ m}^2/\text{tahun},$$

$$t = \frac{T_v \cdot H d r^2}{C_v}$$

$$t = \frac{0,848 \cdot 750^2}{0,00194}$$

$$= 245914715,3 \text{ detik}$$

$$= 245914715,3 / (3600 \cdot 24 \cdot 30 \cdot 12)$$

$$= 7,91 \text{ tahun}$$

D. Perhitungan Penurunan Konsolidasi Dengan Metode Preloading kombinasi PVD

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan *prefabricated vertical drain* (PVD) dapat menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Hansbo (1979) dalam Hardiyatmo (2008). Pola pemasangan yang dihitung ialah pola segitiga dan pola segiempat dengan variasi jarak antar PVD yang berbeda-beda. Adapun perhitungan PVD dengan menggunakan kedua pola pemasangan diatas ialah sebagai berikut :

1. Menentukan Kedalaman PVD

Dari data bore log pada titik BH-109 (STA 47+300) diatas, didapat nilai N-SPT 10 pada kedalaman 8,50 m. Lapisan tanah dengan nilai N-SPT 10 merupakan lapisan tanah keras atau teguh, oleh sebab itu maka kedalaman PVD direncanakan sepanjang 8,50 m.

2. Perhitungan PVD Dengan Pola Segiempat

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi PVD pola segiempat akan dihitung dengan variasi jarak antar titik PVD yang berbeda-beda, yaitu 1,2 m; 1,4 m; 1,5 m; dan 1,6 m. Berikut akan diberikan contoh perhitungan PVD dengan pola segiempat yang berjarak 1,2 m :

a. Menghitung koefisien konsolidasi horizontal (Ch)

$$Ch = (1 \text{ s/d } 4) \cdot C_v$$

Diambil nilai Ch = 2 . C_v (diambil nilai tengah), Adapun perhitungannya ialah sebagai berikut :

$$C_v \text{ gabungan} = \frac{(H_2 + H_3)^2}{\left(\frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} \right)^2}$$

$$= \frac{(3,5 + 4)^2}{\left(\frac{3,5}{\sqrt{0,000000219}} + \frac{4}{\sqrt{0,000000178}} \right)^2}$$

$$= 0,001939 \text{ cm}^2/\text{detik}$$

$$= 6,031 \text{ m}^2/\text{tahun},$$

Maka nilai Ch = 2 . 6,031 = 12,062 m²/tahun

b. Menghitung derajat konsolidasi arah vertikal (U_v)

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H d^2}$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}}$$

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka :

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H d^2} = \frac{6,031 \cdot 0,027}{7,5^2} = 0,0029$$

$$U_v = \sqrt{\frac{4 \cdot T_v}{\pi}}$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0029}{3,14}}$$

$$= 0,0612 = 6,12\%$$

c. Menghitung faktor waktu horizontal (Th)

Jarak antar PVD, s = 1,2 m
Diameter pengaruh, D= 1,13 . s (pola segiempat)
= 1,13 . 1,2
= 1,36 m
lebar PVD (a) = 10 cm
tebal PVD (b) = 0,5 cm, maka diameter ekivalen PVD adalah :

$$a/b = 10 / 0,5 = 20$$

karena $a/b < 50$ maka digunakan rumus $dw = \frac{a+b}{2}$.

$$dw = \frac{a+b}{2} = \frac{10+0,5}{2} = 5,25 \text{ cm} = 0,05 \text{ m}$$

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka :

$$Th = \frac{C_h \cdot t}{D^2} = \frac{12,062 \cdot 0,027}{1,36^2} = 0,1797$$

d. Menghitung derajat konsolidasi horizontal (Uh)

Dengan memperhitungkan efek *smear*, persamaan derajat konsolidasi, Uh adalah :

$$Uh = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot Th}{F(n)}\right)$$

dimana, $F(n) = \ln(n) - 0,75$ dan $n = D/dw$
Maka nilai F(n) adalah :

$$n = \frac{D}{dw} = \frac{1,356}{0,0525} = 25,82$$

$$F(n) = \ln(n) - 0,75 = \ln(24) - 0,75 = 2,501$$

$$\text{Jadi, } Uh = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot Th}{F(n)}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot 0,1797}{2,501}\right) = 0,4372 = 43,72\%$$

e. Menghitung derajat konsolidasi total (U)

$$U = 1 - [(1 - U_v) \cdot (1 - U_h)] = 1 - [(1 - 0,0612) \cdot (1 - 0,4372)] = 1 - (0,9388) \cdot (0,5628) = 0,4716 = 47,16\%$$

f. Menghitung besar penurunan konsolidasi (Sc) pada waktu ke-n

$$Sc = U \cdot S_{ult} = 0,4716 \cdot 0,325 = 0,153 \text{ m}$$

3. Perhitungan PVD Dengan Pola Segitiga

Perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode preloading kombinasi PVD pola segitiga akan dihitung dengan variasi jarak antar titik PVD yang berbeda-beda, yaitu 1,2 m; 1,4 m; 1,5 m; dan 1,6 m. Berikut akan diberikan contoh perhitungan PVD dengan pola segitiga yang berjarak 1,2 m :

a. Menghitung koefisien konsolidasi horizontal (Ch)

$$Ch = 12,062 \text{ m}^2/\text{tahun}$$

b. Menghitung derajat konsolidasi arah vertikal (Uv)

$$Tv = \frac{C_v \cdot t}{Hd^2}$$

$$Uv = \sqrt{\frac{4 \cdot Tv}{\pi}}$$

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka :

$$Tv = 0,0029$$

$$Uv = 0,0612 = 6,12\%$$

d. Menghitung faktor waktu horizontal (Th)

s = jarak antar PVD = 1,2 m
D = diameter pengaruh = 1,05 . s (pola segitiga) = 1,05 . 1,2 = 1,26 m
Diameter ekivalen, dw = 0,05 m

Misalkan pada waktu t = 10 hari = 0,027 tahun, maka :

$$Th = \frac{C_h \cdot t}{D^2} = \frac{12,062 \cdot 0,027}{1,26^2} = 0,2082$$

e. Menghitung derajat konsolidasi horizontal (Uh) Dengan memperhitungkan efek *smear*, persamaan derajat konsolidasi, Uh adalah :

$$Uh = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot Th}{F(n)}\right)$$

dimana, $F(n) = \ln(n) - 0,75$ dan $n = D/dw$
Maka nilai F(n) adalah :

$$n = \frac{D}{dw} = \frac{1,26}{0,0525} = 24$$

$$F(n) = \ln(n) - 0,75 = \ln(24) - 0,75 = 2,43$$

$$\text{Jadi, } Uh = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot Th}{F(n)}\right) = 1 - \exp\left(\frac{-8 \cdot 0,2082}{2,428}\right) = 0,4963 = 49,63\%$$

f. Menghitung derajat konsolidasi total (U)

$$\begin{aligned}
 U &= 1 - [(1 - U_v) \cdot (1 - U_h)] \\
 &= 1 - [(1 - 0,0612) \cdot (1 - 0,4963)] \\
 &= 1 - (0,9388 \cdot 0,5037) \\
 &= 0,5271 \\
 &= 52,71\%
 \end{aligned}$$

g. Menghitung besar penurunan konsolidasi (Sc) pada waktu ke-n

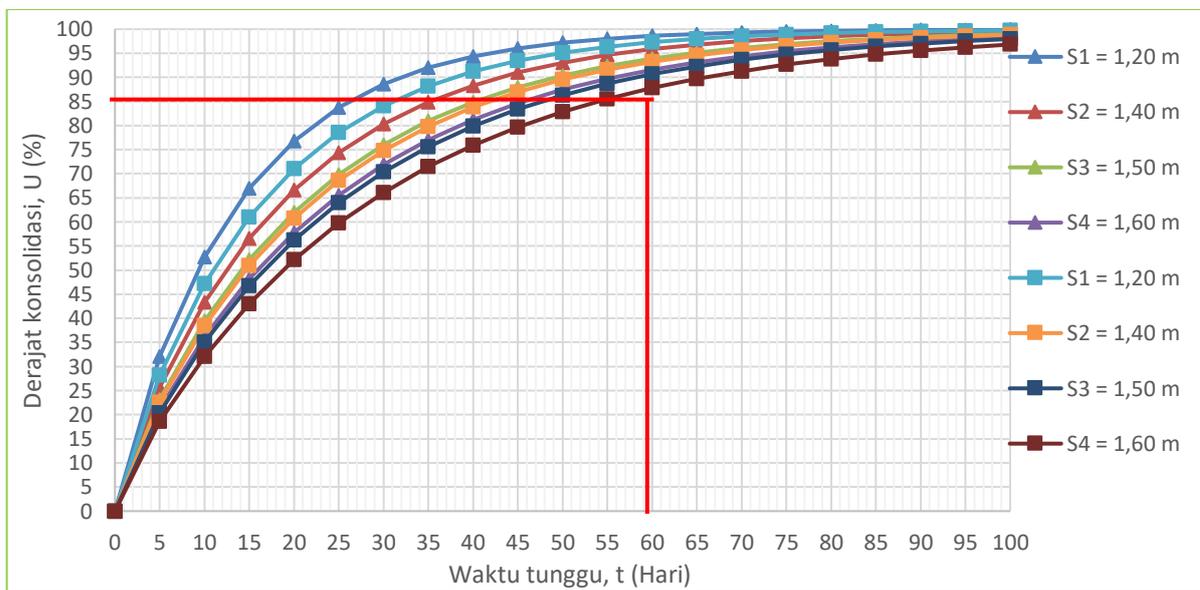
$$\begin{aligned}
 S_c &= U \cdot S_{ult} \\
 &= 0,5271 \cdot 0,325
 \end{aligned}$$

= 0,17 m

Untuk rekapitulasi hasil perhitungan selengkapnya ditunjukkan pada tabel di bawah ini :

4. Menentukan Pola Dan Jarak Pemasangan PVD Yang Digunakan

Grafik dari hasil perhitungan PVD pola segiempat dan segitiga digabungkan untuk mengetahui pola dan jarak pemasangan yang akan digunakan yang ditunjukkan pada **Gambar 6.**



Gambar 6. Grafik hubungan antara derajat konsolidasi (U) dan waktu tunggu (t) pola pemasangan segiempat dan segitiga

Dari **Gambar 6.** dipilih PVD pola pemasangan segitiga jarak 1,60 m dengan derajat konsolidasi (U) 90% yang dicapai dengan waktu tunggu 60 hari.

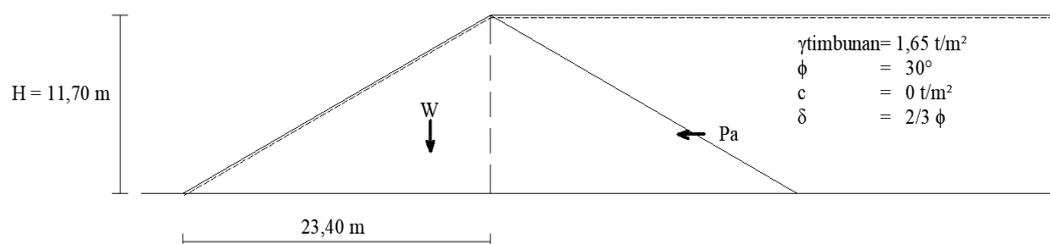
E. Analisis Stabilitas Timbunan Diatas Tanah Lunak Dengan Perkuatan Geotekstil

Analisis stabilitas timbunan diatas tanah lunak dengan perkuatan geotekstil dapat dihitung menggunakan metode yang diperkenalkan oleh Christopher et al., (2000) dalam Hardiyatmo (2013).

Perhitungan stabilitas timbunan diatas tanah lunak dengan perkuatan geotekstil terdiri dari stabilitas internal, stabilitas terhadap pondasi dan stabilitas menyeluruh. Adapun perhitungan stabilitas timbunan diatas tanah lunak dengan perkuatan geotekstil ialah sebagai berikut:

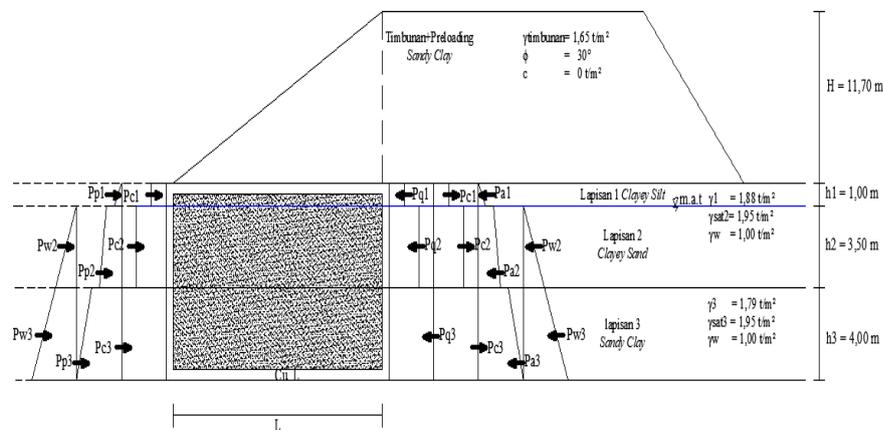
1. Stabilitas Internal

Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas internal:



Gambar 7. Sketsa lereng dan tekanan tanah aktif yang bekerja

- a. Menghitung berat tanah timbunan $= 37,27 \text{ t/m}$
 $W = 0,5 \cdot L \cdot H \cdot \gamma_{\text{timbunan}}$
 $= 0,5 \cdot 23,40 \cdot 11,70 \cdot 1,65$
 $= 225,87 \text{ t/m}$
- b. Menghitung koefisien tekanan tanah aktif $SF = \frac{W \cdot \text{tg} \cdot \delta}{Pa}$
 $Ka = \text{tg}^2 \cdot (45^\circ - \frac{\phi}{2})$
 $= \text{tg}^2 \cdot (45^\circ - \frac{30^\circ}{2})$
 $= 0,33$
 $= \frac{225,87 \cdot \text{tg} \cdot 20}{37,27}$
 $= 2,21 > 1,5 \text{ (Aman)}$
- c. Menghitung tekanan tanah aktif $Pa = 0,5 \cdot H^2 \cdot \gamma_{\text{timbunan}} \cdot Ka$
 $= 0,5 \cdot 11,70^2 \cdot 1,65 \cdot 0,33$
- d. Menghitung faktor aman penggelinciran lereng terhadap geotekstil
2. Stabilitas terhadap pondasi
Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas terhadap pondasi:



Gambar 8. Sketsa lereng dan tekanan tanah aktif dan pasif yang bekerja

- a. Analisis perhitungan pada tanah dasar
Rekapitulasi hasil perhitungan pada tiap lapisan tanah setebal h ditunjukkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 6. Hasil perhitungan tekanan tanah aktif pada tiap lapisan tanah setebal h

Lapisan	H	Ka	Pq	Pc	Pa	Pw
1	1.00	0.35	6.76	2.22	0.33	0.00
2	3.50	0.35	23.65	10.35	4.18	6.13
3	4.00	2.86	64.10	36.44	12.35	8.00

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 7. Hasil perhitungan tekanan tanah pasif pada tiap lapisan tanah setebal h

Lapisan	H	Kp	Pq	Pc	Pp	Pw
1	1.00	0.83	0.00	6.34	2.69	0.00
2	3.50	0.83	0.00	29.60	34.16	6.13
3	4.00	1.20	0.00	43.82	17.86	8.00

Sumber: Hasil perhitungan

- b. Menghitung tekanan tanah aktif total dan tekanan tanah pasif total
- Menghitung tekanan tanah aktif total
 $Patot = (Pq1 + Pq2 + Pq3) - (Pc1 + Pc2 + Pc3) + (Pa1 + Pa2 + Pa3) + (Pw2 + Pw3)$
 $= (6,76 + 23,65 + 64,10) - (2,22 + 10,35 + 36,44) + (0,33 + 4,18 + 12,35) + (6,13 + 8)$
 $= 94,51 - 49,01 + 16,86 + 14,13$
 $= 76,49 \text{ t/m}$

Menghitung tekanan tanah pasif total

$$\begin{aligned} P_{ptot} &= (Pc1 + Pc2 + Pc3) + (Pp1 + Pp2 + Pp3) + \\ & (Pw2 + Pw3) \\ &= (6,34 + 29,60 + 43,82) + (2,69 + 34,16 + \\ & 17,86) + (6,13 + 8) \\ &= 79,76 + 54,71 + 14,13 \\ &= 148,60 \text{ t/m} \end{aligned}$$

c. Cek terhadap adanya perasan lateral

$$\begin{aligned} P_{ptot} + 2 \cdot ((Cu1 + Cu2 + Cu3) \cdot L) &> Patot \\ 148,60 + 2 \cdot ((1,875 + 2,5 + 5) \cdot 23,40) &> 76,49 \\ 148,60 + 438,75 &> 76,49 \\ 587,35 &> 76,49 \text{ (Aman, tidak terjadi perasan} \\ &\text{lateral tanah pondasi)} \end{aligned}$$

d. Menghitung faktor aman terhadap perasan lateral

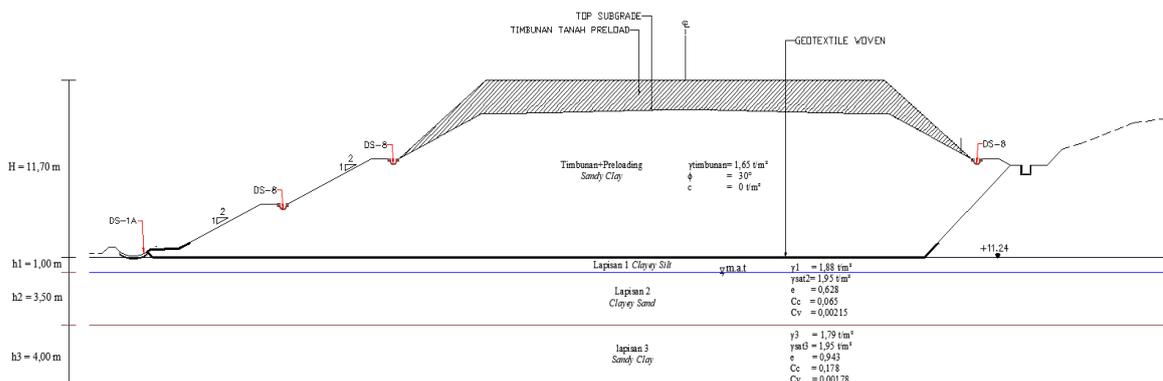
$$SF = \frac{2Cu}{\gamma_{timbunan} \cdot h \cdot tg\beta} + \frac{4,14 \cdot Cu}{H \cdot \gamma_{timbunan}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{2 \cdot (\frac{Cu1+Cu2+Cu3}{3})}{1,65 \cdot 8,50 \cdot tg 13,5} + \frac{4,14 \cdot (\frac{Cu1+Cu2+Cu3}{3})}{11,70 \cdot 1,65} \\ &= \frac{2 \cdot (\frac{1,875+2,5+5}{3})}{1,65 \cdot 8,50 \cdot tg 13,5} + \frac{4,14 \cdot (\frac{1,875+2,5+5}{3})}{11,70 \cdot 1,65} \\ &= 1,86 + 0,67 \\ &= 2,53 > 1,5 \text{ (Aman)} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapat angka aman 2,53 > 1,5 sehingga kemungkinan tidak akan terjadi perasan lateral tanah pondasi.

3. Stabilitas menyeluruh (*Overall stability*)

Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan stabilitas menyeluruh:

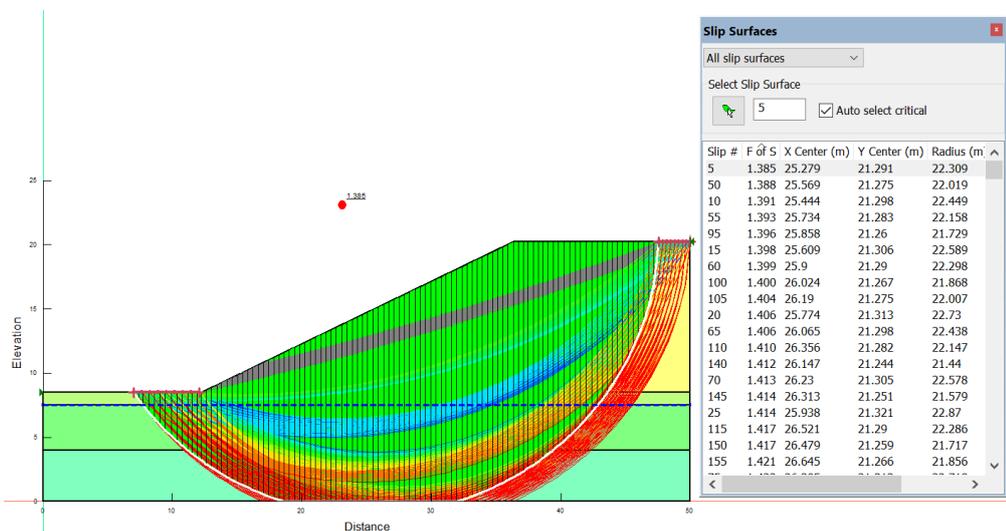


Gambar 9. Gambar asli geometri *GeoSlope*

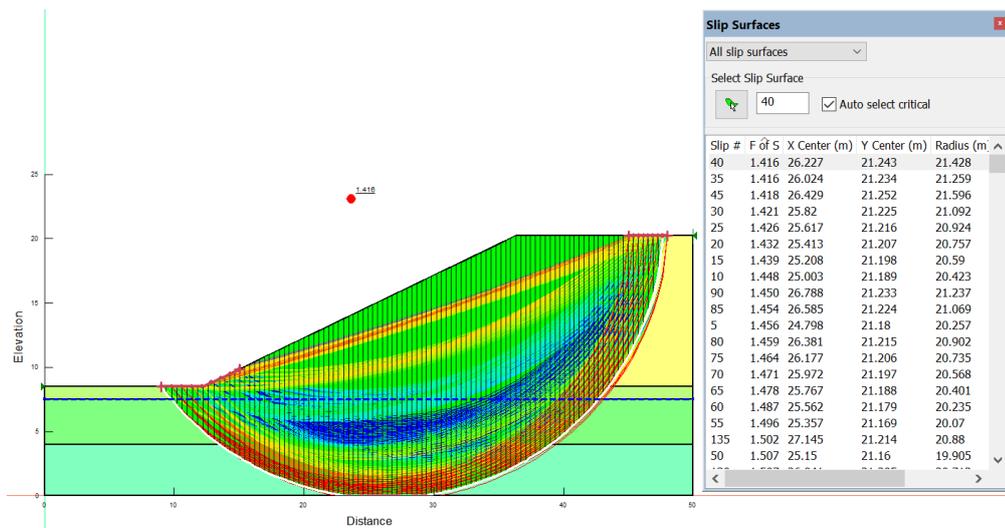
a. Analisis dengan menggunakan program *Geoslope*

Analisis stabilitas lereng untuk timbunan tanpa perkuatan geotekstil dilakukan dengan program

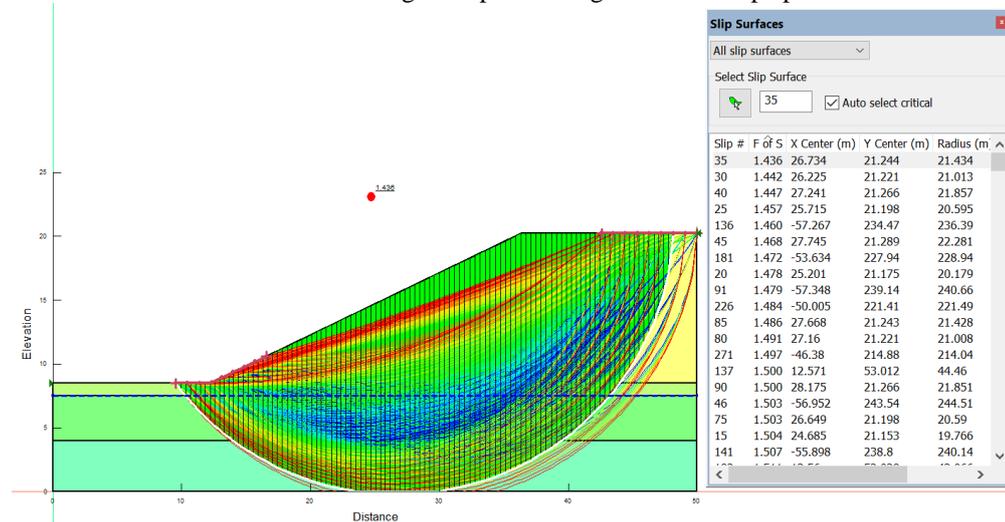
GeoSlope. Setelah dilakukan beberapa kali percobaan didapat hasil analisis sebagai berikut:



a. Hasil analisis 1 kelongsoran pada lereng timbunan tanpa perkuatan



b. Hasil analisis 2 kelongsoran pada lereng timbunan tanpa perkuatan



c. Hasil analisis 3 kelongsoran pada lereng timbunan tanpa perkuatan

Gambar 10. Hasil analisis kelongsoran pada lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil menggunakan program *GeoSlope*

Berdasarkan dari **Gambar 10.** tersebut diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil analisis stabilitas lereng timbunan tanpa perkuatan menggunakan program *GeoSlope*

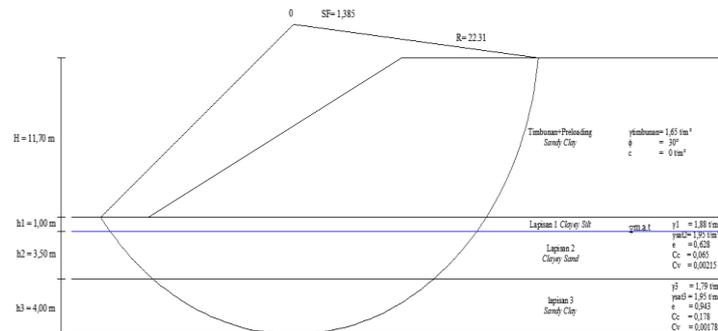
Percobaan	SF	Circle centre		Radius	MR	MD	Φ
		X	Y	(m)	(t/m)	(t/m)	
1	1.385	25.28	21.29	22.31	4967.70	3587.30	66
2	1.416	26.23	21.24	21.43	4729.60	3340.90	64
3	1.436	26.73	21.24	21.43	4770.30	3321.00	65

Sumber: Hasil perhitungan menggunakan program *GeoSlope*

b. Analisis stabilitas menyeluruh dengan perhitungan manual

Hasil analisis stabilitas lereng timbunan tanpa perkuatan geotekstil dengan menggunakan program *GeoSlope* menghasilkan nilai-nilai yang dapat dilihat pada **Tabel 8.** Berdasarkan dari beberapa

percobaan yang telah dilakukan, didapat faktor aman minimum yaitu $SF = 1,385 > 1,3$. Jadi, dalam tinjauan stabilitas lereng tidak diperlukan tulangan geotekstil. Namun tetap perlu dilakukan pengecekan secara manual. Adapun perhitungannya ialah sebagai berikut:



Gambar 11. Bidang longsor lereng tanpa perkuatan

Menghitung kuat tarik geotekstil yang dibutuhkan

$$T3 = \frac{(SF)MD - MR}{R \cos(\phi - \beta)}$$

$$= \frac{1,3 MD - MR}{R \cos(\phi - \beta)}$$

$$= \frac{1,3 \cdot 3587,3 - 4967,70}{22,31 \cos(66 - 33)}$$

$$= -16,26 \text{ t/m} < 0$$

Dari hasil perhitungan diatas terbukti tidak diperlukan geotekstil untuk perkuatan lereng timbunan. Untuk menghitung kuat tarik ultimit geotekstil digunakan persamaan berikut:

$$T_a = T_u \left(\frac{1}{RFID \cdot RFCR \cdot RFD \cdot RFseam} \right)$$

$$T_u = T_a (RFID \cdot RFCR \cdot RFD \cdot RFseam)$$

$$= 37,27 (1,2 \cdot 2 \cdot 1,2 \cdot 1,4)$$

$$= 150,27 \text{ t/m} = 1502,7 \text{ KN/m}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut didapat nilai $T_u = 1502,7 \text{ KN/m}$ sehingga digunakan geotekstil woven merk Tencate Mirafi PET 1600-50 yang diproduksi oleh Tencate Geosynthetics dengan nilai $T_u = 1600 \text{ KN/m}$.

F. Pembahasan

Pembahasan dilakukan terhadap hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading*, penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi PVD dan hasil analisis stabilitas timbunan diatas tanah lunak dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *GeoSlope*.

1. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading*

Adapun hasil perhitungannya ialah sebagai berikut:

Tabel 9. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* tanpa PVD

Penurunan Konsolidasi	Besar Penurunan (m)	Waktu Penurunan (tahun)
Metode Preloading	0,325	7,91

Sumber: Hasil Perhitungan

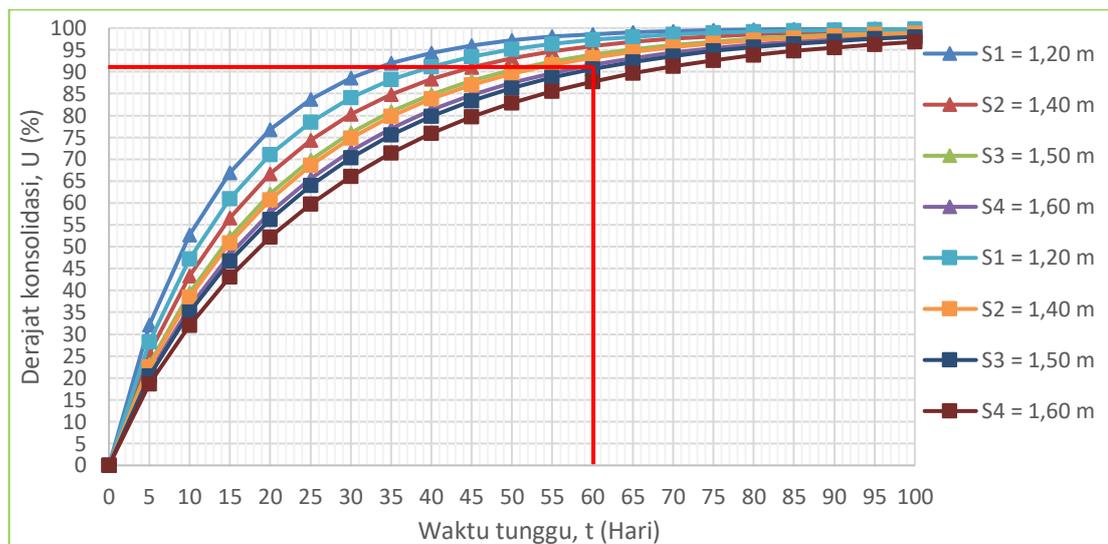
2. Hasil perhitungan penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi PVD

Adapun rekapitulasi hasil perhitungan dan grafiknya ialah sebagai berikut:

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan penurunan konsolidasi metode *preloading* kombinasi PVD

Penurunan Konsolidasi	Besar penurunan (m)	Waktu penurunan (hari)
PVD pola segiempat jarak 1,2 m	0.296	40
PVD pola segiempat jarak 1,4 m	0.298	55
PVD pola segiempat jarak 1,5 m	0.295	60
PVD pola segiempat jarak 1,6 m	0.297	70
PVD pola segitiga jarak 1,2 m	0.299	35
PVD pola segitiga jarak 1,4 m	0.296	45
PVD pola segitiga jarak 1,5 m	0.294	50
PVD pola segitiga jarak 1,6 m	0.298	60

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 12. Grafik hubungan antara derajat konsolidasi (U) dan waktu tunggu (t) pola pemasangan segiempat dan segitiga

3. Hasil analisis stabilitas timbunan diatas tanah lunak dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *GeoSlope*

Adapun rekapitulasi hasil analisis stabilitas timbunan ialah sebagai berikut:

Tabel 11. Rekapitulasi hasil analisis stabilitas timbunan

Analisis Stabilitas	SF	Jenis Perhitungan
Stabilitas Internal	2,21 > 1,5	Manual
Stabilitas terhadap pondasi	2,53 > 1,5	Manual
Stabilitas menyeluruh	1,385 > 1,3	Program <i>Geoslope</i>

Sumber: Hasil perhitungan

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka digunakan geotekstil *woven* merk Tencate Mirafi PET 1600-50 yang diproduksi oleh Tencate Geosynthetics dengan nilai $T_u = 1600$ KN/m.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada analisa penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* kombinasi *PVD* pada proyek pembangunan jalan tol Balikpapan – Samarinda STA 47+300, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Besarnya beban rencana timbunan *preloading* adalah 2,79 t/m², diperoleh tinggi timbunan *preloading* 1,70 m dan total tinggi timbunan rencana 11,70 m.
2. Besar penurunan tanah dengan metode *preloading* adalah sebesar 0,325 m.
3. Lama waktu penurunan konsolidasi dengan metode *preloading* tanpa *PVD* adalah 7,91 tahun.
4. Berdasarkan data bore log, nilai N-SPT 10 berada pada kedalaman 8,50 m. Sehingga kedalaman *PVD* yang direncanakan adalah sepanjang 8,50 m
5. Berdasarkan hasil perhitungan, lamanya waktu penurunan konsolidasi dengan metode

6. *preloading* kombinasi *PVD* adalah 60 hari, *PVD* dipasang sepanjang 8,50 m, pemasangan *PVD* yang paling efisien dari segi waktu perencanaan adalah pola segitiga dengan jarak pemasangan 1,60 m, *PVD* yang digunakan adalah merk CeTeau-Drain CT-D832 yang diproduksi oleh PT. Teknindo Geosistem Unggul dengan dimensi lebar 100 mm dan tebal 5 mm.

7. Dari hasil analisis stabilitas timbunan dengan perkuatan geotekstil diperoleh angka keamanan stabilitas internal 2,21 > 1,5 (aman), stabilitas terhadap pondasi 2,53 > 1,5 (aman), Stabilitas keslongoran secara menyeluruh dengan program *GeoSlope* 1,385 > 1,3 (aman), kuat tarik geotekstil yang dibutuhkan adalah 1502,7 KN/m dan geotekstil yang digunakan adalah geotekstil *woven* merk Tencate Mirafi PET 1600-50 yang diproduksi oleh Tencate Geosynthetics dengan kuat tarik 1600 KN/m.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional., (2017), SNI 8460:2017. Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standarisasi Nasional: Jakarta.

- [2] Bowles, J. E., (1997), *Foundation Analysis And Design*, Fifth Edition. Singapore: McGraw-Hill Companies.
- [3] Chasanah, U., (2012), *Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program Geoslope*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [4] Craig, R. F., (1989), *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat (Soepandji, B. S., Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- [5] Das, B. M., (1995), *Mekanika Tanah : Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid 1* (Noor Endah & Indrasurya, B.M., Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- [6] Hardiyatmo, H.C., (2002), *Mekanika Tanah I*, Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [7] Hardiyatmo, H.C., (2002), *Mekanika Tanah II*, Edisi Ketiga. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [8] Hardiyatmo, H.C., (2008), *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya*, Edisi Pertama. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [9] Hardiyatmo, H.C., (2013), *Geosintetik Untuk Rekayasa Jalan Raya*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [10] Kuswanda, W.P., (2016), *Perbaikan Tanah Lempung Lunak Metoda Preloading Pada Pembangunan Infrastruktur Transportasi Di Pulau Kalimantan*. Prosiding Seminar nasional Geoteknik 2016, PS S1 Teknik Sipil Unlam, Banjarmasin: 1 Oktober 2016. Hal: 5
- [11] Pusat Litbang Prasarana Transportasi. (2001), *Panduan Geoteknik 4 Desain Dan Kontruksi*: Jakarta.