

ANALISIS STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DENGAN *PREFABRICATED VERTICAL DRAIN* DAN GEOTEKSTIL MENGUNAKAN PROGRAM PLAXIS

Irham Bagus Pratama¹, Hanindya Kusuma Artati² dan Anisa Nur Amalina²

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

² Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Stability
Geotextile
Safety Factor
Consolidation Settlement
PLAXIS V20

Corresponding Author:

Hanindya Kusuma Artati
hanindya@uii.ac.id

Abstract

The Semarang – Demak toll road is constructed at the location of former rice fields and ponds, where the project site is dominated by soft soil. The Semarang-Demak toll road project embankment is reinforced with geotextiles and prefabricated drains (PVD). This study was conducted to analyze the stability of the embankment using PLAXIS V20 software and the settlement. The variation of the embankment height is 4 meters, 6 meter, 8 meters, and 10 meters in existing and reinforced conditions. The result showed that SF for the 10 m embankment without reinforcement is 1,00. While in post-construction condition, the 10-meter embankment collapsed. Manual calculation was conducted using Fellenius method and the result was 0,91. The slope was reinforced using geotextile and prefabricated drain. The results showed that the SF increased in each slope variation, especially for the 10-meter embankment is 1,1958. While in post-construction, the SF for the 10-meter height is 1,21. The settlement analysis was also conducted, and the results showed that the settlement and consolidation time decreased after applying the geotextile and PVD. The highest settlement was found in the 10-meter embankment. It was about 0.47 meter.

*Copyright © 2023 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved*

Pendahuluan Latar belakang

Proyek Strategis Nasional (PSN) adalah proyek – proyek bertaraf nasional yang dilakukan dengan tujuan meningkatkan pertumbuhan ekonomi, pemerataan pembangunan, kesejahteraan masyarakat serta

pembangunan di daerah Proyek Infrastruktur yang termasuk ke dalam Proyek Strategis Nasional salah satunya ialah Proyek Jalan Tol Semarang – Demak . Proyek Jalan Tol Semarang - Demak terdiri dari 2 seksi yaitu pada seksi I Kaligawe - Sayung sepanjang 10,294 km dan seksi II Sayung - Demak sepanjang 16,310 km dengan panjang total

26,7 km. Dibangunnya Jalan Tol Semarang - Demak diharapkan dapat menjadi pendukung dalam peningkatan konektivitas di wilayah Jawa Tengah bagian utara sekaligus penghubung kawasan strategis seperti bandara, pelabuhan, kawasan industri, dan kawasan pariwisata religi khususnya di wilayah Demak. Kondisi tanah eksisting Proyek Jalan Tol Semarang – Demak berada di atas tanah lunak, hal ini menjadi perhatian penting akibat peristiwa yang dapat terjadi seperti terjadinya penurunan (*settlement*) dan longsor. Untuk mencegah terjadinya kelongsoran pada timbunan, diperlukan suatu konstruksi yang berfungsi untuk menahan kelongsoran. Ada beberapa perkuatan dalam analisis stabilitas lereng, salah satunya dengan menggunakan perkuatan geotekstil. Geotekstil merupakan suatu metode yang digunakan dalam Geoteknik yang menggunakan bahan sintesis polimer yaitu geosintetik. Permodelan lereng timbunan dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan tujuan untuk mengetahui stabilitas pada timbunan pada kondisi tanah asli serta melakukan perhitungan perkuatan yang diperlukan. Perkuatan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan 2 metode yaitu dengan melakukan penambahan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil.

Tinjauan Pustaka

Penelitian Terdahulu

Arsy (2018) melakukan penelitian dengan judul Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius. Studi kasus yang diteliti adalah proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 4+175. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui stabilitas timbunan pada badan jalan tanpa perkuatan geotekstil dan dengan perkuatan geotekstil serta mengetahui hubungan antara panjang, jarak vertikal dan sudut kemiringan geotekstil terhadap angka keamanan.

Budiasto (2018) melakukan penelitian mengenai Analisis Stabilitas Timbunan Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil

Menggunakan PLAXIS. Penelitian mengambil studi kasus pada proyek Jalan Tol Solo – Kertosono STA 118+700 – 139+760. Penelitian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui *safety factor* pada timbunan dan penurunan tanah selama 200 hari. Variasi tinggi pada permodelan dibedakan menjadi 2 m, 4 m, 6 m dan 8 m. Selain variasi tinggi, dilakukan juga variasi pada tiga kondisi yaitu, timbunan tanah asli, timbunan dengan tanah *replacement* dan timbunan tanah *replacement* yang diperkuat dengan geotekstil.

Thantowi (2019) melakukan penelitian dengan perkuatan sheet pile baja dan geotekstil. Metode analisis timbunan yang digunakan dengan menggunakan program PLAXIS V20 dengan tujuan untuk mengetahui nilai angka aman pada timbunan pada kondisi sebelum dan sesudah menggunakan perkuatan sheet pile baja berangkur dan geotekstil.

Landasan Teori

Stabilitas Lereng

Gaya-gaya gravitasi dan rembesan (*seepage*) cenderung menyebabkan ketidakstabilan pada lereng alami (*natural slope*), pada lereng yang dibentuk secara penggalian dan pada lereng tanggul serta bendungan tanah (*earth dams*). Analisis stabilitas lereng didasarkan pada



konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Maksud dari analisis stabilitas adalah untuk menentukan faktor aman dari bidang longsor yang potensial. Tipe keruntuhan lereng yang terjadi pada analisis yaitu tipe keruntuhan gabungan yang digambarkan pada Gambar 1 sebagai berikut.

Gambar 1. Tipe Keruntuhan Lereng

Gabungan

(Sumber: Das, 2002)

Faktor Keamanan

Dalam menentukan kestabilan lereng, dikenal istilah faktor keamanan (*safety factor*), faktor keamanan adalah perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak. Gaya penahan (*resisting force*) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadinya longsoran pada tanah, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya longsoran tanah. Perbandingan antara kedua gaya tersebutlah yang disebut dengan faktor keamanan (FK). Kondisi lereng dapat dinyatakan dalam keadaan mantap, apabila nilai faktor keamanan yang dihasilkan lebih besar dari 1 ($FK > 1$). Bowles (1989) menjelaskan keadaan lereng berdasarkan nilai *safety factor* (SF) yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Faktor Keamanan Lereng

Faktor Keamanan	Status Lereng	Intensitas Lereng
$SF < 1,07$	Lereng Labil	Longsor sering terjadi
$1,07 \geq SF \geq 1,25$	Lereng Kritis	Longsor pernah terjadi
$1,25 \geq SF$	Lereng Relatif Stabil	Longsor jarang terjadi

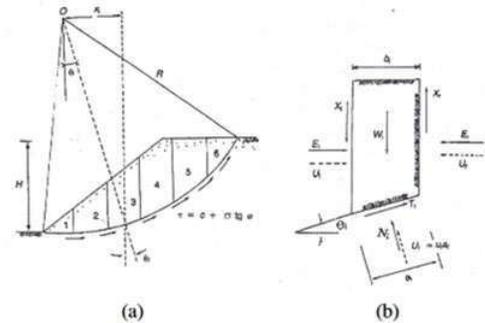
Metode Fellenius

Metode Fellenius (*Ordinary Method of Slice*) adalah sebuah metode yang diperkenalkan pertama kali oleh Fellenius (1927, 1936), metode ini menyatakan gaya memiliki sudut kemiringan paralel dengan dasar irisan faktor keamanan dihitung dengan keseimbangan momen. Analisis menggunakan metode Fellenius menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi kanan- kiri dari sembarang irisan memiliki resultan nol pada arah tegak lurus bidang longsor.

Fellenius mengemukakan metodenya dengan menyatakan asumsi bahwa keruntuhan terjadi melalui rotasi dari suatu blok tanah pada permukaan longsor berbentuk lingkaran (sirkuler) dengan titik O sebagai titik pusat rotasi. Metode ini juga menganggap bahwa

gaya normal P bekerja di tengah-tengah irisan (*slice*).

Ilustrasi mengenai gaya-gaya yang bekerja pada irisan dengan pemodelan metode Fellenius dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Gambar Ilustrasi gaya-gaya pada setiap irisan dengan Metode Fellenius

(Sumber: Hardiyatmo, 2010)

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n c a_i + (W_i \cos \theta_i - u_i a_i) \tan \phi}{\sum_{i=1}^n W_i \sin \phi}$$

Keterangan :

- SF = faktor aman,
- c = kohesi tanah (kN/m^2),
- ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$),
- a_i = panjang bagian lingkaran pada irisan ke-i (m),
- W_i = berat irisan tanah ke-i (kN),
- u_i = tekanan air pori pada irisan ke-i (kN/m^2), dan
- θ_i = sudut yang didefinisikan ($^\circ$).

Geosintetik

1. Geotekstil

Geotekstil adalah salah satu jenis geosintetik yang lolos air yang berasal dari bahan tekstil (bahan polimer) yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja tanah dan berbentuk seperti karpet atau kain. Dalam proses pembuatan geotekstil, elemen tekstil seperti serat-serat atau beberapa untaian (yarn) dikombinasikan menjadi struktur tekstil lembaran. Elemen tersebut berupa filamen (serat menerus) berbentuk benang polimer tipis dan panjang atau serabut serat (staple fiber) berbentuk filamen pendek dengan panjang antara 20-150mm. Berdasarkan

metode yang digunakan dalam mengkombinasikan filamen atau pita menjadi struktur lembaran, jenis geotekstil dibagi menjadi Geotekstil tak-teranyam (*non-woven*) dan Geotekstil teranyam (*woven*)

2. *Prefabricated Vertical Drain (PVD)*
Prefabricated Vertical Drain (PVD) adalah material penyaring geotekstil yang berfungsi sebagai saringan drainase dipasang secara vertikal. Penggunaan PVD dilakukan dengan tujuan mempercepat konsolidasi dengan mengurangi kadar air pada tanah serta meningkatkan daya dukung tanah sehingga kelongsoran pada tanah lunak dapat dicegah
3. *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)*
Sama seperti PVD, *Prefabricated Horizontal Drain (PHD)* material penyaring geotekstil yang berfungsi sebagai saringan drainase. PHD dipasang secara horizontal dengan tujuan agar dapat mengalirkan air secara horizontal yang berasal dari *vertical drain*.

Penurunan Tanah (Settlement) dan Konsolidasi

Salah satu permasalahan yang terjadi pada tanah lunak adalah penurunan tanah, penurunan tanah dapat terjadi ketika lapisan tanah menerima pembebanan. Penambahan beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah yang berada di bawahnya mengalami penambahan tegangan dan pemampatan serta mengalami regangan pada tanah sehingga terjadi penurunan (*settlement*). Konsolidasi adalah proses pengurangan volume atau rongga pori pada tanah jenuh dengan permeabilitas rendah akibat adanya pembebanan, dimana pada prosesnya dipengaruhi oleh laju air pori keluar dari rongga tanah.

PLAXIS

PLAXIS adalah sebuah program analisis geoteknik besutan *Bentley System* yang mana program ini dipilih karena dapat menganalisa stabilitas pada tanah dengan menggunakan

metode elemen hingga dan mampu melakukan analisis hingga mendekati perilaku sebenarnya. PLAXIS menyediakan berbagai analisis mengenai *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain.

Pada tahap analisis dengan menggunakan program PLAXIS terdapat beberapa langkah yang perlu dilakukan, diantaranya sebagai berikut.

1. *Input* data Pada tahapan input data yang dilakukan adalah melakukan permodelan berupa data geometri dinding penahan tanah dan lereng yang akan dianalisis, pembebanan, material tanah, meshing serta initial condition. Sehingga model yang dihasilkan menggambarkan kondisi nyata yang terdapat di lapangan.
2. *Calculation* Tahap setelah dilakukan permodelan pada tahapan *input* data adalah tahap *calculation*. Pada tahap ini, dilakukan analisis sesuai dengan kebutuhan terhadap model yang telah didefinisikan dalam input data. Terdapat beberapa *type calculation* yang disediakan, yaitu *consolidation*, *type plastic*, *phi/c reduction* dan *dynamic analysis*.
3. *Output* Setelah selesai proses analisis, hasil dari analisis pada tahap *calculation* dapat dilihat pada tahap *output*. Hasil analisis pada tahap *output* dapat ditampilkan dalam bentuk gambar, angka dan kurva. *Output* yang dihasilkan kemudian akan ditinjau dalam penelitian ini berupa *safety factor*, *total displacement*, kelongsoran dan derajat konsolidasi.

Curve Hasil analisis juga dapat berupa *curve* selain dapat dilihat melalui hasil output. *Curve* menggambarkan hasil dari seluruh tahapan perhitungan, dan menampilkan 2 parameter untuk melihat perbandingan dari masing-masing tahap perhitungan. *Curve* yang diambil dalam penelitian ini sebagai perbandingan adalah *curve* dari *safety factor* dan *curve vertical displacement*.

Metode Penelitian

Tahap awal penelitian dilakukan dengan pengumpulan data, antara lain data pengujian lapangan, hasil uji laboratorium, dan geometri lereng. Data tersebut kemudian diolah dan digunakan sebagai input data perhitungan manual dan dengan PLAXIS V20.

Pemodelan PLAXIS V20 dibagi menjadi dua kondisi, yaitu pada lereng tanah asli dan lereng dengan perkuatan. Pada setiap kondisi akan digunakan variasi ketinggian lereng 4m, 6m, 8m dan 10m. Variasi lereng yang mengalami kegagalan kemudian dianalisis secara manual dengan metode Fellenius untuk mendapatkan nilai angka aman.

Pemodelan juga dilakukan dengan melihat pengaruh geotekstil dan PVD. Hasil pemodelan berupa angka aman lereng, waktu konsolidasi dan penurunan konsolidasi.

Analisis dan Pembahasan

Data Penelitian

Pada penelitian diperlukan data yang digunakan untuk melakukan analisis stabilitas lereng, adapun data-data yang digunakan sebagai berikut.

1. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam proses penelitian dapat dilihat melalui Tabel 2 berikut.

2. Data Perkerasan dan Lalu Lintas

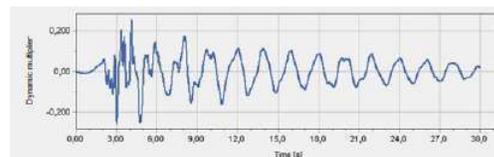
Beban perkerasan sebesar 13,65 kN/m² dari data sekunder, sedangkan untuk beban lalu lintas yang bekerja sebesar 15 kN/m² dapat dilihat berdasarkan fungsi jalan dan sistem jaringan jalan berdasarkan Departemen Pekerjaan Umum (2009).

3. Data Beban Gempa

Data gempa yang sesuai dengan wilayah Semarang – Demak adalah data American Canyon, California pada tahun 2014 yang memiliki puncak percepatan gempa 0,258g. waktu interval yang dimasukkan ke dalam PLAXIS diambil sebesar 4,15 detik dengan anggapan telah melewati percepatan puncak. Grafik respon spektrum dapat dilihat pada Gambar 4 berikut ini.

Tabel 2. Data Tanah

Uraian	Satuan	Tanah Dasar		Timbunan
Nama		Lempung kepasiran	Lempung kelanauan	Kerikil kepasiran
Model		Mc	Mc	Mc
Jenis		Undrained	Undrained	Drained
Kedalaman-an	m	0 – 5,5	5,5 – 23,5	-
γ_{unsat}	gr/cm ³	1,291	1,014	1,632
γ_{sat}	gr/cm ³	1,797	1,596	1,937
Kx	m/hari	0,000064627	0,000126144	0,01
Ky	m/hari	0,000064627	0,000126144	0,01
Eref	kN/m ²	3064	5362	11000
Void Ratio	kN/m ²	1,043	1,568	-
Kohesi (c)	-	5,0014	9,1202	10
Sudut Geser (ϕ)	°	4,175	6,221	25
Sudut Dilatasi	°	0	0	0
Cv	cm ² /s	0,384	0,462	
Cc	cm ² /s	0,385	0,300	
Pe'	gr/cm ³	0,535	0,7	



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Percepatan dan Waktu

4. Data Geotekstil

Nilai kuat tarik ijin geotekstil yang dibutuhkan dalam pemodelan diperoleh dari brosur produksi PT. Geo Permata Abadi, dimana jenis geotekstil yang digunakan merupakan geotekstil woven GT- 250 dengan nilai kuat tarik sebesar 63 kN/m.

Tabel 3. Data Parameter Geotekstil

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
Kuat Tarik Ijin	Ta	63	kN/m
Regangan	E	19	%
Kekakuan Normal	EA	331,579	kN/m

5. Data *Prefabricated Vertical Drain*

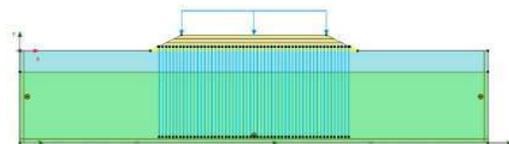
Prefabricated Vertical Drain yang digunakan pada proyek Tol Semarang – Demak disesuaikan dengan spesifikasi material yang disyaratkan dalam SNI Geoteknik 8460:2017. Spesifikasi yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Spesifikasi *Prefabricated Vertical Drain*

No	Parameter	Unit	Sni geoteknik (2017)
A	Composite		
1	Tebal (thickness)	Mm	2-10
2	Lebar (width)	Mm	±100
3	Kuat tarik (tensile strength)		
-	Regang putus	%	>2
-	Regang @0.5kn	%	≤10
-	Kuat tarik minimum	Kn	>1.5
4	Uji kapasitas pelepasan	Cm3/s	≥6,5
B	Filter		
1	Kuat tarik (tensile strength)	Kn/m	≥3
2	Ukuran pori	Um	<80
3	Indeks kecepatan filter	Mm/s	>1

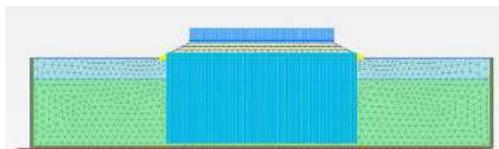
Analisis Dengan Program PLAXIS

Analisis stabilitas lereng dengan program PLAXIS yang ditampilkan pada kondisi lereng timbunan tanah asli dengan *Prefabricated Vertical Drain* dan Geotekstil tinggi timbunan 4 m paska konstruksi. Adapun permodelan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

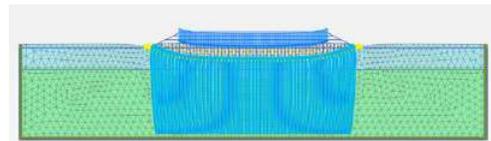


Gambar 5. Permodelan Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan

Untuk hasil pembuatan jaringan elemen (*meshing*) dapat dilihat pada Gambar 6 sebagai berikut.

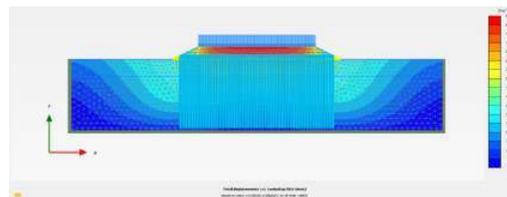


Gambar 6. Jaringan Elemen (*Meshing*) Timbunan 4 Meter Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan



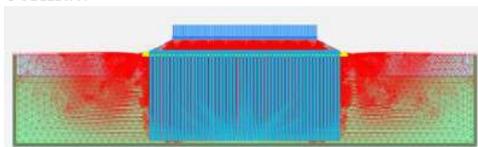
Gambar 7. *Deformed Mesh* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan

Nilai *total displacement* yang didapatkan sebesar 0,08250m. Adapun hasil dapat dilihat pada Gambar 8 berikut ini.



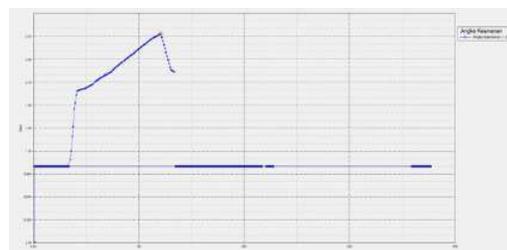
Gambar 8. *Total Displacement* Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan

Arah pergerakan tanah akibat beban struktur dan lalu lintas dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Arah Pergerakan Tanah Timbunan 4m Kondisi Tanah Asli dengan Perkuatan

Nilai angka aman akibat beban struktur dan lalu lintas sebesar 2,23. Adapun kurva hasil dapat dilihat pada Gambar 11 berikut.



Gambar 11. Kurva Angka Aman

Pembahasan

Dari hasil analisis diperoleh kurva nilai angka aman, konsolidasi dan derajat konsolidasi yang dapat dilihat melalui Gambar berikut ini.

1. Angka Keamanan

Hasil rekapitulasi angka aman dengan menggunakan Metode *Fellenius* dan menggunakan program PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan Metode *Fellenius*

Timbunan (m)	Angka Keamanan
	Paska Konstruksi
10	0,84

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Angka Keamanan Menggunakan PLAXIS

Variasi Timbunan	Permodelan	Masa Konstruksi	Paska Konstruksi
Timbunan 4 m	Tanah Asli	1,95	1,40
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,96	1,45
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	2,23	1,91
Timbunan 6 m	Tanah Asli	1,49	1,23
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,54	1,28
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	2,07	1,62
Timbunan 8 m	Tanah Asli	1,24	1,05
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,30	1,11
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	1,45	1,38
Timbunan 10 m	Tanah Asli	1,00	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	1,14	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	1,20	1,21

2. Konsolidasi

Hasil rekapitulasi konsolidasi dengan menggunakan pilihan *minimum excess pore pressure* menggunakan program PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Rekapitulasi Hasil Konsolidasi *Excess Pore Pressure*

Variasi Timbunan	Permodelan	Konsolidasi (m)
Timbunan 4 m	Tanah Asli	0,1533
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,1524
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,1524
Timbunan 6 m	Tanah Asli	0,224
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,2175
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,2175
Timbunan 8 m	Tanah Asli	0,3073
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	0,3014
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,3014
Timbunan 10 m	Tanah Asli	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	0,4737

3. Derajat Konsolidasi

Hasil rekapitulasi waktu derajat konsolidasi dengan menggunakan PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 8 berikut ini.

Tabel 8 Rekapitulasi Waktu Derajat Konsolidasi 90%

Variasi Timbunan	Permodelan	Waktu Derajat Konsolidasi 90% (tahun)
Timbunan 4 m	Tanah Asli	1025
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	133
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	116
Timbunan 6 m	Tanah Asli	1086
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	136
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	121
Timbunan 8 m	Tanah Asli	1034
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	186
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	195
Timbunan 10 m	Tanah Asli	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i>	<i>Collapse</i>
	Tanah Asli Dengan <i>Prefabricated Drain</i> dan Geotekstil	185

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi menunjukkan bahwa angka keamanan untuk lereng timbunan asli dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,9510 ,timbunan 6m sebesar 1,4897, timbunan 8m sebesar 1,2363 dan timbunan 10m sebesar 1,00. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4041, timbunan 6m sebesar 1,2272 dan timbunan 8m sebesar 1,0513. Pada tinggi timbunan 10m terjadi soil body collapse, sehingga nilai angka keamanannya dihitung dengan menggunakan metode Fellenius. Didapatkan nilai angka keamanan dengan menggunakan metode Fellenius pada timbunan 10m paska konstuksit dengan nilai sebesar 0,9098. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan excess pore water pressure pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1533 m, timbunan 6m sebesar 0,224 m dan timbunan 8m sebesar 0,3073 m.
2. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan prefabricated drain menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi didapatkan nilai angka kemananan untuk lereng timbunan dengan tinggi timbunan 4m sebesar 1,9850,timbunan 6m sebesar 1,5357, timbunan 8m sebesar 1,2939 dan timbunan 10m sebesar 1,1415. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4582, timbunan 6m sebesar 1,2752 dan timbunan 8m sebesar 1,1061, namun pada tinggi timbunan 10m terjadi soil body collapse. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli dengan penambahan prefabricated drain dan geotekstil didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan excess pore water pressure pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1524 m, timbunan 6m sebesar 0,2175 m, timbunan 8m sebesar 0,3014 m dan timbunan 10m sebesar 0,4737 m.
3. Hasil analisis stabilitas timbunan pada kondisi tanah asli dengan perkuatan prefabricated vertical drain dan geotekstil menggunakan program PLAXIS pada masa konstruksi didapatkan nilai angka kemananan untuk lereng timbunan dengan tinggi timbunan 4m sebesar 2,2325,timbunan 6m sebesar 2,0694, timbunan 8m sebesar 1,4484 dan timbunan 10m sebesar 1,1958. Sedangkan pada kondisi paska konstruksi lereng timbunan kondisi tanah asli didapatkan nilai angka keamanan dengan variasi tinggi timbunan 4m sebesar 1,4582, timbunan 6m sebesar 1,2752 dan timbunan 8m sebesar 1,1061, namun pada tinggi timbunan 10m terjadi soil body collapse. Kemudian nilai hasil analisis penurunan dengan menggunakan program PLAXIS pada kondisi tanah asli dengan penambahan prefabricated drain dan geotekstil didapatkan nilai penurunan dengan perhitungan excess pore water pressure pada timbunan 4m memiliki nilai sebesar 0,1524 m, timbunan 6m sebesar 0,2175 m, timbunan 8m sebesar 0,3014 m dan timbunan 10m sebesar 0,4737 m.
4. Penggunaan prefabricated vertical drain dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat meningkatkan nilai angka keamanan pada setiap variasi tinggi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter. Tinggi pada timbunan mempengaruhi hasil angka keamanan yang diperoleh, dikarenakan semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis nilai angka keamanan yang diperoleh semakin kecil.
5. Penggunaan prefabricated vertical drain dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat mengurangi nilai penurunan yang terjadi

- pada timbunan dengan *perhitungan excess pore water pressure*. Tinggi timbunan yang dianalisis mempengaruhi hasil penurunan yang terjadi, karena semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis hasil yang diperoleh semakin besar.
6. Penggunaan *prefabricated vertical drain* dan geotekstil pada kondisi tanah asli dapat mempercepat waktu konsolidasi tanah untuk mencapai derajat 90% pada setiap variasi tinggi timbunan yaitu 4 meter, 6 meter, 8 meter dan 10 meter. Variasi tinggi pada timbunan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat 90%, dikarenakan semakin tinggi variasi timbunan yang dianalisis waktu yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi 90% semakin besar.
- Daftar Pustaka**
- Arsy, Aisyah. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Pada Konstruksi Badan Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Metode Fellenius (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono STA 4+175). dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. SNI 1726:2019. Jakarta.
- Bina Marga. 2009. *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Bowles, J.E. 1989. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Terjemahan. Erlangga. Jakarta.
- Bolton, M.D. 1986. *The Strength and Dilatancy of Sands*. *Geotechnique*, 36, 65-78.
- Budiastho, Adi.2018. Analisis Stabilitas Timbunan pada Badan Jalan dengan Perkuatan Geotekstil menggunakan Program PLAXIS pada Proyek Jalan Tol Solo-Kertosono. dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Das, B.M. (1988). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Edisi Pertama. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Das, B.M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta
- Departemen Pekerjaan Umum. 2009. Modul Pelatihan Geosintetik Volume 3: Perencanaan Geosintetik Untuk Perkuatan Lereng
- Hamdani, A.T. 2019. Analisis Stabilitas Timbunan Jalan Di Atas Tanah Lunak Dengan Perkuatan *Sheet Pile* dan Geotekstil. (Studi Kasus : Tol Balikpapan – Samarinda seksi V. STA. 9+726 s/d STA. 9+926). Dspace.uui.ac.id. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1994). *Mekanika Tanah 2*. Edisi Pertama. Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (1996). *Mekanika Tanah I*. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2003). *Mekanika Tanah II*. Edisi Ke III Gadjah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H.C. (2006). *Mekanika Tanah I*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2008). *Geosintetik untuk Rekayasa Jalan Raya*. Edisi Pertama. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C. (2010). *Mekanika Tanah 1*. Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Purwanto, Edy. (2012). Hand Out Mata Kuliah Perkuatan Tanah. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Suryadinullah, Aryanto. 2018. Analisis Stabilitas Timbunan Lereng Pada Jalan Dengan Perkuatan Geotekstil Menggunakan Program PLAXIS Pada

Tol Terbanggu Besar – Pematang
Panggung STA 3+650, Lampung.
dspace.uii.ac.id. Yogyakarta

Terzaghi, K. And Peck, R. B., (1967), *Soil
Mechanics in Engineering Practice*,
New York : John Wiley & Sons, Inc.

Utomo, B.P. 2019. Analisis Stabilitas Lereng
Dengan Perkuatan Soil Nailing Dengan
Menggunakan Program *Geoslope* Pada
Bantaran Sungai Code. dspace.uii.ac.id.
Yogyakarta