

# PENGARUH PERBAIKAN TANAH FONDASI DAN PERKUATAN TERHADAP STABILITAS LERENG TIMBUNAN JALAN DI ATAS TANAH LUNAK

Zul Aslam <sup>[1]</sup>, Nurly Gofar <sup>[1]\*</sup>

<sup>[1]</sup> Department of Civil Engineering Universitas Bina Darma, Palembang, 39111, Indonesia

Email: [zulaslaml965@gmail.com](mailto:zulaslaml965@gmail.com), [nurly\\_gofar@binadarma.ac.id](mailto:nurly_gofar@binadarma.ac.id)\*

\*) Correspondent Author

Received: 13 March 2022 / Revised: 13 April 2022 / Accepted: 13 April 2022

How to cite this article:

Aslam, Z., Gofar, N., (2022). Pengaruh Perbaikan Tanah Fondasi dan Perkuatan Terhadap Stabilitas Lereng Timbunan Jalan di Atas Tanah Lunak. Jurnal Teknik Sipil, 18(2), 356 - 367. <https://doi.org/10.28932/jts.v18i2.4613>

## ABSTRAK

Pembangunan ruas jalan tol di Sumatra Selatan menghadapi dua permasalahan. Pertama sebagian besar ruas jalan dibangun di atas deposit tanah lunak sehingga tanah dasar harus diperbaiki untuk mempercepat proses konsolidasi dan mendapatkan daya dukung yang memadai. Kedua, timbunan yang diperlukan untuk mencapai elevasi rencana jalan tol cukup tinggi sehingga diperlukan perkuatan untuk memperbaiki kestabilan lereng. Artikel ini memuat hasil kajian mengenai pengaruh perbaikan tanah dasar menggunakan PVD dan tekanan vakum, pemasangan lapisan geotekstil dan pemasangan tiang di kaki lereng timbunan terhadap stabilitas timbunan jalan tol. Analisis dilakukan menggunakan data yang didapat dari pembangunan ruas jalan tol Kayu Agung – Palembang Seksi 1A, termasuk data geometri, stratifikasi tanah, dan konfigurasi pemasangan PVD dan perkuatan tanah. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan metode Morgenstern & Price yang terintegrasi dalam program SLOPE/W. Hasil analisis menunjukkan tinggi timbunan yang aman untuk kondisi tanah asal adalah 3,5 m sedangkan tinggi timbunan yang diperlukan adalah 6 m. Analisis yang dilakukan terhadap timbunan dengan tinggi 6 m menggunakan data tanah setelah perbaikan dengan PVD dan tekanan vakum menghasilkan FK yang masih lebih kecil dari 1,5. Adanya lapisan geotekstil dan tiang di kaki lereng meningkatkan FK menjadi 2,410. Lereng masih dalam kondisi aman dengan FK 1,762 setelah penambahan beban jalan dan beban lalu lintas sebesar 35 kPa.

**Kata kunci:** Geotekstil, PVD, Tanah Lunak, Tiang, Timbunan Jalan

**ABSTRACT. THE EFFECT OF SOIL STABILIZATION AND REINFORCEMENT ON THE STABILITY OF EMBANKMENT ON SOFT SOIL.** The construction of toll roads in South Sumatra faces two problems. First, most of the road sections are built on soft soil deposits, so the soil must be improved to speed up consolidation process and to improve bearing capacity. Second, the embankment required to reach the design elevation of the toll road is quite high so that reinforcement is needed to improve slope stability. This paper contains the results of a study on the effect of soil improvement using PVD and vacuum pressure, installation of geotextile layers and pile at the toe of embankment slopes, on the stability of the embankment. The analysis were carried out using data obtained from the construction of the Kayu Agung – Palembang toll road Section 1A, including geometry data, soil stratification, and configuration of PVD installation and soil reinforcement. Slope stability analysis was carried out using the Morgenstern & Price method which is integrated in SLOPE/W program. The results of the analysis show that the safe embankment height for the original soil condition is 3.5 m while the required height of embankment was 6 m. Analysis made for the 6 m high embankment using soil properties after ground improvement with PVD and vacuum pressure shows the FoS is still below 1.5. The presence of geotextile layers and pile improved the performance of the embankment and increased the FoS to 2.410. The slope is still in a safe condition with FoS of 1.762 after the construction of toll road and traffic load which induces a combined load of 35 kPa.

**Keywords:** Geotextile, PVD, Soft Soil, Pile, Embankment

## 1. PENDAHULUAN

Konstruksi jalan bebas hambatan (jalan tol) yang dibangun di atas tanah lunak memerlukan perbaikan tanah dasar agar dapat menghasilkan konstruksi jalan tol yang dapat berfungsi dengan baik dan memenuhi standar perancangan yang diberikan dalam SNI 8460-2017 dan Manual Disain Perkerasan Jalan (Dit Jend Bina Marga, 2017).

Untuk pembangunan jalan tol, perlu dilakukan peninggian untuk mencapai elevasi jalan sesuai rencana. Hal ini dilakukan dengan melakukan perbaikan dan penimbunan tanah sebelum dilakukan konstruksi jalan tol. Untuk itu perlu dilakukan analisis stabilitas lereng timbunan agar dapat diprediksi kinerja jalan yang akan dibangun di atas-nya.

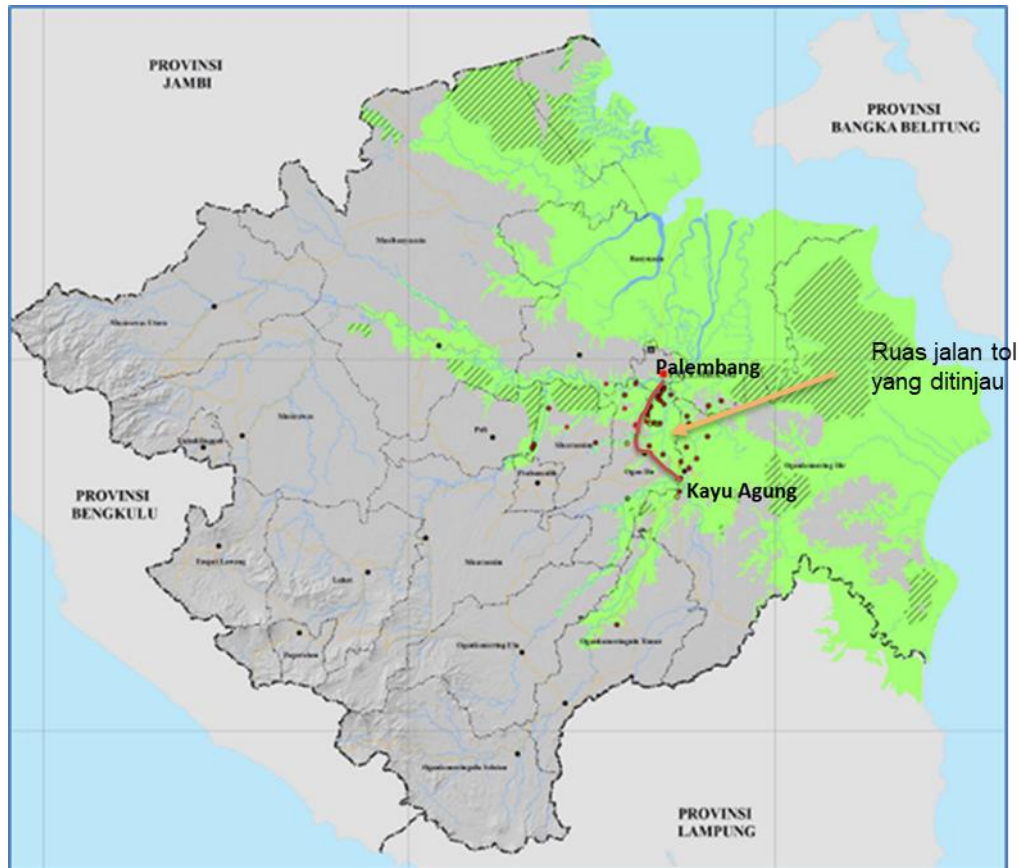
Pembangunan ruas jalan bebas hambatan (jalan tol) Trans Sumatra yaitu Kayu Agung – Palembang dilaksanakan di bagian timur provinsi Sumatera Selatan. Ruas jalan ini melalui deposit tanah lempung lunak atau bahkan tanah organik atau gambut yang di bagian atasnya ditutupi rawa-rawa. Gambar 1 memperlihatkan sebaran tanah lunak di Sumatera Selatan (Badan Geologi, 2019). Hampir semua trase jalan tol Kayu Agung – Palembang melalui sisi timur pulau Sumatra. Dengan demikian pembangunan jalan tol ini menghadapi dua permasalahan yaitu (a) daya dukung tanah yang rendah, kompressibilitas tanah yang tinggi dan (b) peninggian tanah untuk mencapai elevasi rencana jalan tol.

Pembangunan jalan di atas tanah lunak menghadapi dua permasalahan yaitu daya dukung yang rendah dan penurunan yang besar (Aik, 2007, Desiani & Redjasentana, 2012). Kegagalan tanah fondasi akan berimbas kepada terjadinya longsor pada lereng timbunan. Tanah dasar yang berupa tanah lunak harus diperbaiki untuk mempercepat proses konsolidasi untuk memperkecil penurunan yang terjadi pada masa operasional dan mendapatkan daya dukung yang memadai. Penurunan tanah yang terjadi setelah jalan memasuki masa operasional (*post construction settlement*) dapat menyebabkan lubang-lubang pada perkerasan jalan, kualitas berkendara yang buruk dan berbahaya bagi lalu lintas karena permukaan jalan yang tidak rata. Deformasi tanah dan timbunan dapat menyebabkan beban tambahan pada struktur seperti pilar dan abutmen jembatan, gorong gorong, deformasi yang besar serta kerusakan.

Tanah dasar yang berupa tanah lunak harus diperbaiki untuk mempercepat proses konsolidasi untuk memperkecil penurunan yang terjadi pada masa operasional dan mendapatkan daya dukung yang memadai.

Manual disain perkerasan jalan mensyaratkan bahwa penurunan pada masa operasional dibatasi sebesar 10 cm dalam 10 tahun, dengan kecepatan penurunan maksimum 2 cm per tahun (Dit Jend Bina Marga, 2017). Oleh karena itu diusahakan supaya sebagian besar penurunan terjadi sebelum jalan difungsikan untuk penggunaannya oleh masyarakat. Dalam hal ini, kombinasi PVD dengan pembebanan awal menggunakan timbunan tambahan (*surcharge*) maupun tekanan vakum

(*vacuum consolidation*) telah dipilih sebagai metode perbaikan tanah karena selain memberikan manfaat mempercepat penurunan tanah, juga memberikan kontribusi terhadap peningkatan daya dukung tanah fondasi secara keseluruhan.



**Gambar 1.** Sebaran Tanah Lunak di Sumatera Selatan  
(Sumber: Badan Geologi, 2019) dan trase jalan Tol Kayu Agung - Palembang

Penggunaan beban tambahan atau tekanan vakum untuk menambahkan beban sebelum dan selama konstruksi dimaksudkan untuk mengurangi penurunan setelah konstruksi sedangkan pemasangan PVD bertujuan untuk mempercepat proses konsolidasi (Indraratna et al., 2005).

Kedua, adanya rawa-rawa atau muka air tanah yang tinggi memerlukan timbunan untuk mencapai elevasi dasar (*platform*) dan elevasi rencana jalan tol. Oleh karena itu diperlukan perkuatan untuk menambah kekuatan geser tanah di bagian ujung timbunan karena bagian ini merupakan bagian yang rentan terhadap kegagalan geser dan longsoran tanah (Koerner, 2005). Ada dua jenis kelongsoran yang mungkin terjadi pada timbunan yang tinggi yaitu kelongsoran dangkal yang mempengaruhi timbunan itu sendiri dan kelongsoran dalam (*deep seated failure*) yang mempengaruhi tanah timbunan dan tanah fondasi. Biasanya penambahan kekuatan dilakukan dengan pemasangan lapisan geotekstil di bawah timbunan dan tiang pada tepi

timbunan. Tiang dapat digunakan dan secara efektif dapat meningkatkan stabilitas lereng timbunan (Nguyen, 2021). Pemasangan geotekstil dan tiang juga bertujuan untuk mencegah terjadinya perpindahan dalam arah horisontal (*lateral spreading*) yang disebabkan oleh tekanan lateral yang terjadi pada timbunan dan tanah fondasi. Pemasangan geotekstil efektif menambah stabilitas timbunan baik dalam hal daya dukung maupun mengatasi perpindahan dalam arah horisontal (Koerner, 2005).

Penelitian mengenai stabilitas dan deformasi timbunan di atas tanah lunak telah dilakukan oleh Indraratna et al., 1992 berdasarkan pengujian skala besar yaitu *Muar embankment*. Selanjutnya Jitno & Gofar (2005) melakukan analisis terhadap perilaku timbunan tersebut dengan metode keseimbangan batas (LEM) menggunakan Slope/W dan metode beda hingga (*finite difference*) menggunakan FLAC 2D. Hasil penelitian Jitno & Gofar menunjukkan bahwa kedua metode dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas dan deformasi timbunan di atas tanah lunak dengan baik. Pengaruh geotekstil dalam menambah stabilitas timbunan di atas tanah lunak dipelajari berdasarkan pengukuran di lapangan dan analisis metode elemen hingga (*finite element*) (Bergado et al., 2002).

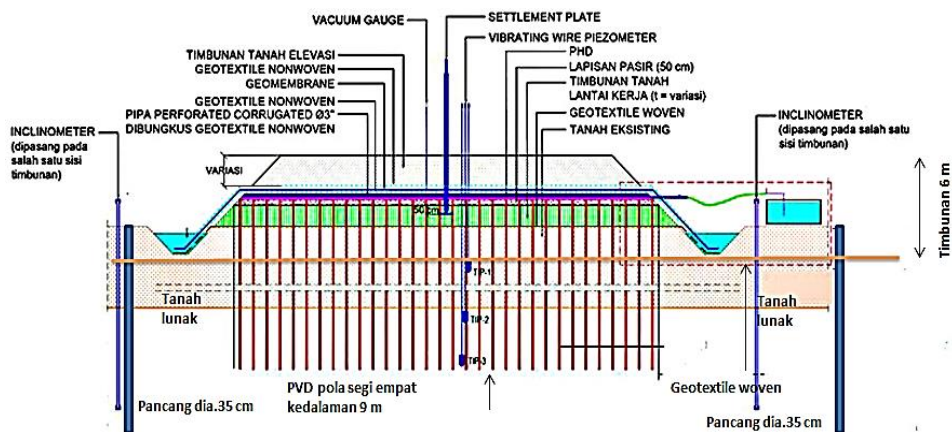
Tinjauan terhadap metode perbaikan tanah pada Jalan Tol di Sumatra telah dilakukan oleh beberapa peneliti seperti: Bartholomeus & Pasaribu (2012) (Tebing Tinggi, Sumatra Utara), serta Suardi et al. (2021) dan Erviyanti et al (2018) (Jalan tol Palembang – Indaralaya, Sumatra Selatan). Study dilakukan terhadap pengaruh pembebanan awal dan percepatan konsolidasi menggunakan PVD terhadap proses penurunan tanah yang terjadi. Studi mengenai penggunaan PVD dan tekanan vakum juga telah dilakukan oleh Suhendra & Irsyam (2011) dan Edwin & Suhendra (2019) serta penggunaan PVD pada tanah lempung lunak yang terdapat lapisan lensa oleh Prasetyo & Prihatiningsih (2020).

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan bahwa perbaikan tanah fondasi dan analisis kestabilan dan deformasi lereng timbunan telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Namun hanya sedikit penelitian yang menganalisis pengaruh masing masing metode stabilisasi terhadap kinerja timbunan sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan fondasi dengan PVD dan beban awal (*preloading*) termasuk juga pengaruh perkuatan lereng dengan tiang dan perkuatan dengan lapisan geosintetik terhadap stabilitas lereng timbunan.

Artikel ini menyajikan hasil analisis pengaruh perbaikan tanah fondasi serta perkuatan lereng terhadap stabilitas timbunan tanah pada konstruksi jalan di atas tanah lunak. Evaluasi stabilitas lereng timbunan di atas tanah lunak dilakukan setelah perbaikan tanah fondasi dengan PVD dan tekanan vakum. Selanjutnya dilakukan analisis peningkatan stabilitas timbunan dengan geotekstil dan tiang terhadap stabilitas lereng dan analisis kontribusi masing-masing metode terhadap peningkatan stabilitas timbunan.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dititikberatkan pada pengaruh penggunaan geotekstil dan tiang terhadap kestabilan lereng timbunan jalan. Data yang digunakan dalam analisis adalah data geometri, stratifikasi dan properties tanah, konfigurasi metode perbaikan tanah yang digunakan (PVD dan tekanan vakum), geosintetik serta tiang yang digunakan. Representasi tinjauan kondisi tanah, timbunan, metode perbaikan tanah dasar serta stabilisasi lereng dan konstruksi jalan, serta pembebanan diberikan pada Gambar 2. Data didapatkan dari proyek pembangunan ruas Jalan Tol Kayu Agung – Palembang - Betung pada STA19+700.

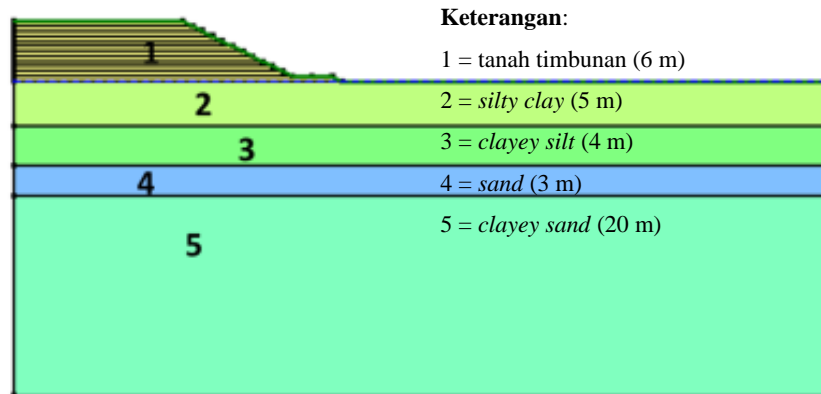


**Gambar 2:** Penampang Konstruksi Jalan Tol dan Perbaikan Tanah pada STA 19+700

Pemodelan dilakukan untuk analisis stabilitas lereng timbunan menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium methods*) dalam program SLOPE/W (*Geoslope International*, 2018). Sifat tanah yang digunakan dalam analisis didasarkan pada data yang dikumpulkan pada Jalan Tol Kayu Agung – Palembang STA 19+700. Semua lapisan dan juga tanah timbunan dimodelkan sebagai material Mohr Coulomb dengan data tanah seperti pada Tabel 1. Gambar 3 memperlihatkan stratifikasi tanah pada STA yang ditinjau dalam penelitian ini. Seperti diperlihatkan pada Gambar 3, tanah dasar terdiri dari 4 lapisan yaitu *silty clay* (lempung kelanauan) dengan tebal 5 m, *clayey silt* (lanau kelempungan) dengan tebal 4 m, *sand* (pasir) dengan tebal 3 m, dan *clayey sand* (pasir kelempungan) dengan tebal 20 m.

**Tabel 1** Data Tanah yang digunakan dalam Analisis

Parameter	Satuan	Timbunan	<i>Silty Clay</i>	<i>Clayey Silt</i>	<i>Sand</i>	<i>Clayey Sand</i>
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,75	16,47	17,35	18	19,46
$c$	kN/m <sup>2</sup>	25	6,1	20	0	13
$\phi$	°	8,42	8,50	23	30	27



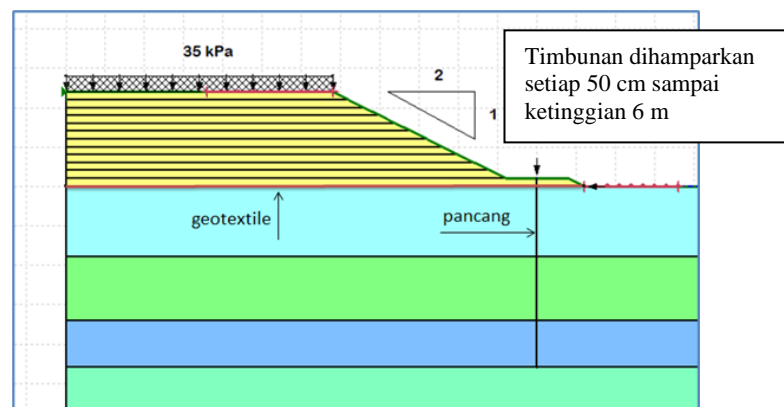
Gambar 3: Parameter Tanah STA 19+700

Jenis geotekstil yang digunakan adalah Woven GITW200 yang berkekuatan geser 200 kN/m<sup>2</sup>, sedangkan tiang yang digunakan berdiameter 35 cm dengan kedalaman pancang 12 m (Gambar 2). Untuk beban yang bekerja di atas timbunan yaitu beban konstruksi jalan dan beban lalu lintas diperkirakan sebesar 35 kPa.

Tinggi timbunan adalah 6 m dimodelkan dalam 12 lapisan yaitu setiap 0,5 m. Kemiringan lereng adalah 26° atau 1V:2H merupakan kemiringan yang disyaratkan untuk timbunan yang stabil. Dalam hal ini tanah timbunan merupakan tanah yang dipadatkan sesuai dengan kriteria SNI 8460-2017. Gambar 4 memperlihatkan idealisasi model yang digunakan dalam analisis.

Analisis stabilitas timbunan dilakukan menggunakan metode Morgenstern and Price yang terintegrasi dalam program SLOPE/W (*Geoslope International, 2018*). Kriteria kestabilan lereng menggunakan SNI 8460-2017 yaitu untuk kriteria stabilitas lereng timbunan dinyatakan aman bila Faktor Keamanan (FK)  $\geq 1.5$ . Dalam penelitian ini dilakukan lima (5) tahapan analisis yaitu:

1. Analisis tinggi timbunan maksimum yang dapat dilakukan di atas tanah dasar pada kondisi tanpa perbaikan tanah. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan ketinggian timbunan untuk mencapai *platform* pekerjaan perbaikan tanah menggunakan PVD dan tekanan vakum.



Gambar 4 Model Dalam Analisis

2. Berdasarkan data lapangan maka tinggi timbunan untuk mencapai *platform* adalah 3 m dan tinggi timbunan untuk mencapai elevasi jalan adalah 3 m. Maka analisis selanjutnya dilakukan untuk mendapatkan kestabilan lereng dengan tinggi timbunan 6 m dengan kondisi tanah dasar yang telah diperbaiki menggunakan PVD dan tekanan vakum. Dalam hal ini digunakan data tanah berdasarkan perbandingan hasil pengujian sondir setelah perbaikan tanah.
3. Pengaruh geotekstil pada dasar timbunan di analisis untuk mendapatkan peningkatan faktor keamanan sebagai pengaruh dari lapisan geotekstil yang dimobilisasi sebagai perkuatan dasar timbunan.
4. Pengaruh geotekstil dan tiang dilakukan secara Bersama-sama untuk mendapatkan peningkatan faktor keamanan sebagai pengaruh dari gabungan metode perkuatan.
5. Evaluasi kestabilan timbunan setelah masa operasional jalan tol dengan penambahan beban konstruksi jalan dan beban lalu lintas sebesar 35 kPa.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis disajikan dalam lima bagian yaitu: analisis mengenai tinggi timbunan di atas tanah asli. Dilanjutkan dengan hasil analisis timbunan di atas tanah yang telah diperbaiki dengan PVD dan tekanan vakum. Kemudian pengaruh adanya lapisan geotekstil di bawah timbunan dan tiang di sisi timbunan. Terakhir adalah analisis stabilitas timbunan pada masa operasional.

#### 3.1 Tinggi Timbunan yang Diizinkan di Atas Tanah Asli

Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan metode Morgenstern and Price yang terintegrasi dalam program SLOPE/W. Hasil analisis ditunjukkan pada Tabel 2. Dapat dilihat dari Tabel 2 bahwa lereng masih stabil ( $FK \geq 1.5$ ) sampai ketinggian 3,5 m yaitu melebihi ketinggian timbunan untuk mencapai *platform* (3,0 m).

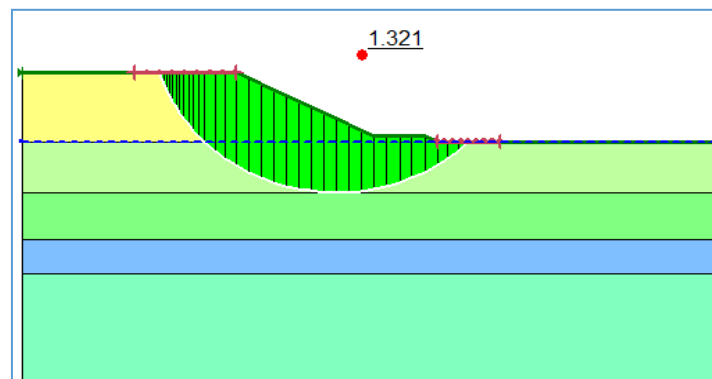
Tabel 2. Faktor Keamanan Lereng di Atas Tanah Asli

Tinggi	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
FK	5,49	3,82	2,85	2,27	1,96	1,73	1,58	1,45	1,35	1,28	1,22	1,16

#### 3.2 Pengaruh Stabilitas Tanah dengan PVD dan Vakum Terhadap Tinggi Timbunan

Analisis stabilitas di atas tanah yang telah diperbaiki dengan PVD dan tekanan vakum dilakukan terhadap lereng dengan ketinggian 6 m yaitu ketinggian timbunan yang diperlukan untuk mencapai elevasi rencana jalan. Dalam hal ini diasumsikan bahwa terjadi peningkatan kekuatan geser tanah sebanding dengan peningkatan nilai konus dan gesekan dari pengujian (CPT) yang dilakukan sebelum dan setelah pekerjaan perbaikan tanah fondasi. Dalam hal ini

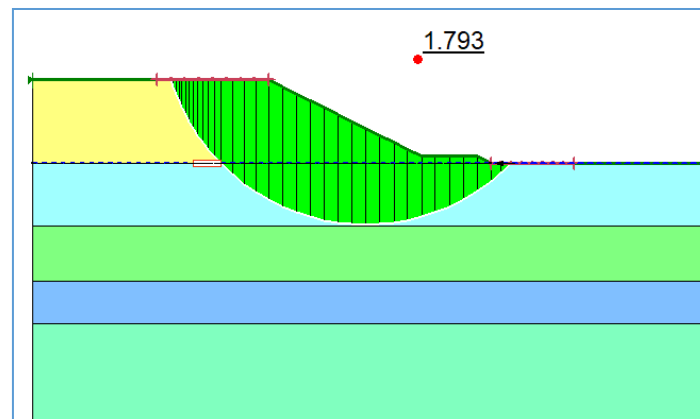
peningkatan yang terjadi dapat dilihat dari peningkatan hasil sondir yaitu nilai konus yang didapatkan setelah aplikasi PVD dan *preloading* yaitu 1,7 – 2,0 lebih tinggi dari nilai konus asal. Peningkatan nilai konus ini diaplikasikan sebagai peningkatan nilai kohesi yang digunakan dalam analisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa timbunan masih dalam kondisi aman pada tinggi timbunan 5 m. Stabilitas lereng diperlihatkan pada Gambar 5. Faktor keamanan lereng yang didapatkan untuk tinggi timbunan 6 m adalah 1,321 masih di bawah kriteria stabil yang diberikan oleh SNI 8460-2017.



**Gambar 5.** Stabilitas Lereng Timbunan 6 m di Atas Tanah yang Telah Diperbaiki dengan PVD dan Tekanan Vakum

### 3.3 Pengaruh Lapisan Geotekstil terhadap Stabilitas Lereng Timbunan

Pada umumnya timbunan dihamparkan di atas lapisan geotekstil. Fungsi pertama dari lapisan geotekstil ini adalah separator yaitu memisahkan tanah timbunan dengan tanah fondasi. Namun, apabila diperlukan geotekstil juga berfungsi sebagai perkuatan. Geotekstil yang digunakan dalam analisis ini memiliki kekuatan *Factored Pullout Resistance*: 75 kN/m dan *Maximum Pullout Force*: 200 kN. Analisis yang dilakukan menunjukkan peningkatan faktor keamanan sebesar 1,793 seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



**Gambar 6** Pengaruh Lapisan Geotekstil terhadap Stabilitas Lereng Timbunan

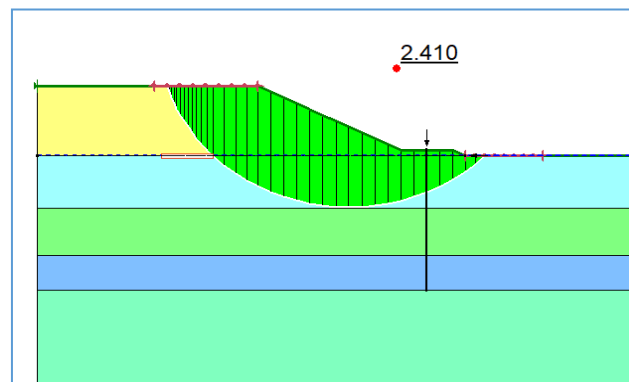


### 3.4 Pengaruh Tiang terhadap Stabilitas Lereng Timbunan

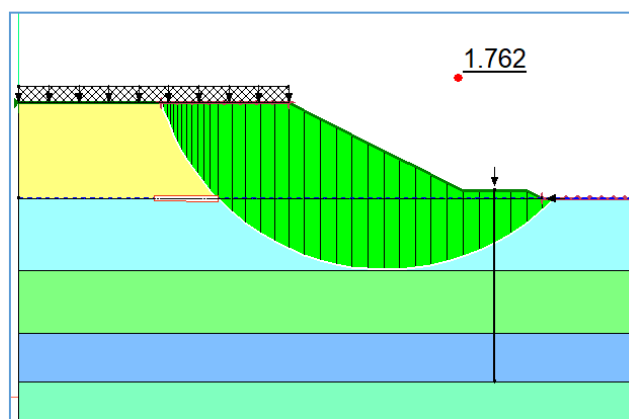
Analisis stabilitas lereng juga dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh pemasangan tiang penahan di samping timbunan terhadap stabilitas timbunan itu sendiri. Dalam hal ini digunakan konfigurasi dimana lapisan geotekstil ditempatkan didasar timbunan dan tiang dipasang pada kedua sisi timbunan memanjang searah jalan. Dalam hal ini jarak tiang adalah 0,5 m. Tiang yang digunakan berdiameter 35 mm, *shear resistance*: 70 kN dan *shear reduction factor*: 1. Hasil analisis yang diperlihatkan pada Gambar 7 menunjukkan peningkatan faktor keamanan menjadi 2,410.

### 3.5 Analisis Stabilitas pada Kondisi Operasional

Konstruksi perkerasan dilakukan setelah timbunan mencapai elevasi rencana jalan. Dalam hal ini dilakukan analisis stabilitas dengan kombinasi beban perkerasan jalan dan beban lalu lintas sebesar 35 kPa. Hasil analisis diperlihatkan pada Gambar 8, dimana lereng timbunan masih dalam kondisi stabil pada masa operasional dengan faktor keamanan sebesar 1,762.



**Gambar 7** Gabungan Pengaruh Lapisan Geotekstil dan Tiang terhadap Stabilitas Lereng Timbunan



**Gambar 8** Stabilitas Lereng yang Diperkuat dengan Lapisan Geotekstil dan Tiang Pada Masa Operasional

### 3.6 Pembahasan

Sebagian besar trase jalan tol di Sumatera Selatan melalui daerah rawa yang dibawahnya terdapat tanah lunak. Dengan demikian diperlukan timbunan yang cukup tinggi berkisar 4 – 6 m. Daya dukung dan besarnya penurunan tanah dasar diperbaiki dengan pemasangan PVD dan *preloading* menggunakan metode *surcharge* atau tekanan vakum. Umumnya bagian dasar timbunan dilapisi dengan geotekstil. Geotekstil, selain memisahkan antara tanah sebagai fondasi dengan timbunan, dapat juga berfungsi untuk meningkatkan kestabilan timbunan terhadap pergeseran dalam arah lateral dan longoran. Perkuatan oleh geotekstil ini juga dibantu dengan pemasangan tiang di sisi timbunan.

Analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa tinggi timbunan maksimum yang dapat dihindarkan di atas tanah asli hanya 3,5 m. Umumnya pada konstruksi jalan tol Kayu Agung – Palembang dilakukan penimbunan dengan ketinggian 3 m atau kurang, sebelum dilakukan perbaikan tanah dengan PVD dan tekanan vakum. Selain dari mengurangi penurunan tanah setelah pembangunan (*post construction settlement*), penggunaan PVD dan *preloading* memberikan peningkatan daya dukung tanah dasar sehingga tinggi timbunan yang dapat ditahan oleh tanah dasar meningkat. Dalam penelitian ini, peningkatan kekuatan tanah sebanding dengan peningkatan nilai konus yang didapatkan dari pengujian sondir. Namun demikian faktor keamanan (FK) lereng yang didapatkan (1,321), masih lebih rendah dari 1,5 yaitu nilai batas yang ditentukan dalam SNI 8460-2017.

Pemasangan lapisan geosintetik merupakan prosedur umum pada konstruksi timbunan jalan di atas tanah lunak. Apabila pemasangan geotekstil dilakukan dengan baik sesuai dengan prosedur standar, maka selain berfungsi sebagai pemisah, geotekstil juga berfungsi sebagai perkuatan dasar timbunan. Analisis dilakukan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi kontribusi lapisan geotekstil terhadap kestabilan lereng timbunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa FK meningkat dari 1,321 menjadi 1,793. Pemasangan pancang di ujung lereng timbunan memberikan kontribusi terhadap stabilitas lereng sehingga FK meningkat secara signifikan dari 1,793 menjadi 2,410. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa jalan tol cukup aman dari segi daya dukungnya dan stabilitas lereng timbunan.

Keamanan timbunan di evaluasi untuk kondisi pada saat operasional (*in service*) yaitu setelah konstruksi perkerasan dan beban lalu lintas bekerja. Dalam hal ini perkiraan besarnya beban konstruksi dan beban lalu lintas berdasarkan Manual disain jalan (Dit Jen Bina Marga, 2013) yaitu sebesar 35 kN/m<sup>2</sup>. Analisis menunjukkan bahwa faktor keamanan pada kondisi operasional adalah  $FK = 1,762$  atau  $> 1,5$ . Kondisi ini aman berdasarkan SNI 8460-2017. Peningkatan faktor keamanan yang disebabkan oleh perkuatan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Peningkatan Faktor Keamanan (FK) Lereng pada Tinggi Timbunan 6 m.

Kondisi	Tanpa perkuatan	Dengan lapisan Geotekstil	Kombinasi Geotekstil & Tiang	Masa Operasional
FK	1,321	1,793	2,410	1,762

#### 4. KESIMPULAN

Dari analisis yang dilakukan dalam penelitian berdasarkan studi kasus ini dapat di tarik kesimpulan bahwa stabilisasi tanah dasar dengan menggunakan PVD dan tekanan vakum meningkatkan kekuatan tanah sehingga tinggi timbunan dalam kondisi aman ( $FK > 1,5$ ) meningkat dari 3,5 m menjadi 5 m. Pemasangan geotekstil di dasar timbunan dapat memberikan kontribusi yang besar terhadap stabilitas lereng timbunan. Dengan termobilisasi-nya kekuatan geotekstile, tahanan terhadap *pull-out* menyebabkan timbunan tertahan dari pergerakan ke samping dan meningkatnya stabilitas timbunan. Pemancangan tiang di sepanjang arah memanjang timbunan berfungsi sebagai dinding penahan terhadap longsor, memberikan kontribusi stabilitas lereng terhadap kelongsoran dalam (*deep seated failure*). Penggunaan secara bersamaan geotekstil dan tiang dapat meningkatkan faktor keamanan lereng sehingga menghasilkan faktor keamanan 1,762 ( $FK > 1,5$ ) pada masa operasional. Kondisi ini aman berdasarkan SNI 8460:2017.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Aik, N.C. (2007). Construction of Road Embankment Over Soft Ground: What Can Go Wrong?. *Proceeding 7<sup>th</sup> Malaysian Road Conference*. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Bartholomeus & Pasaribu, H. (2022). Prediksi Penurunan Timbunan Jalan Studi Kasus: Penanganan dengan Preloading di Tebing Tinggi, Sumatra Utara. *Jurnal Teknik Sipil* 18(1):166-184
- Bergado, D.T., Pham V.L. & Murthy, B.R.S. (2002). A Case Study of Geotextile-Reinforced Embankment on Soft Ground. *Geotextiles and Geomembranes*. 20(6): 343-365.
- Desiani, A. & Redjasentana, S. (2012). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Soil Binder. *Jurnal Teknik Sipil* 8(1):61-75
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan* Nomor 04/SE/Db/2017 (Revisi Juni 2017).
- Edwin H. & Suhendra, A. (2019). Analisis Metode *Vacuum Preloading* untuk Mempercepat Konsolidasi pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air. *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 2(4):87-94.

- Erviyanti, LY., Hardiyatmo, HC., dan Utomo, SHT. (2018). Estimasi Derajat Konsolidasi Berdasarkan Tekanan Air Pori Menggunakan *Vacuum Preloading*, Studi Kasus Jalan Tol Palindra Sumsel. *Prosiding Simposium FSTPT ke 21*, Malang.
- Gofar, N. & K.A. Kassim (2007). *Introduction to Geotechnical Engineering Part 1*. Pearson Prentice Hall. Singapore.
- Indraratna, B., Sathananthan, I., Rujikiatkamjorn, C., & Balasubramaniam, A.S. (2005). Analytical and Numerical Modeling of Soft Soil Stabilized by Prefabricated Vertical Drains Incorporating Vacuum Preloading. *Report No 1-6-2005*. University of Wolongong, Australia.
- Indraratna, B., Balasubramaniam A.S., and Balachandran, S. (1992). Performance of Test Embankment Constructed to Failure on Soft Marine Clay. *ASCE. Journal of Geotechnical Engineering*, 118(1) 12 – 33.
- Jitno, H. & N. Gofar (2005). Stability and Failed Embankments Founded on Soft Clays. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, UTM.
- Koerner, R.M. (2005), *Designing with Geosynthetics*, Prentice- Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Nguyen H.H. (2021). *The Role of Reinforced Piles in Stability Analysis of Road Embankment on Soft Ground*. In: Wang C.M., Dao V., Kitipornchai S. (eds) *EASEC16. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 101. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8079-6\\_43](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8079-6_43)
- Prasetyo, A. & Prihatiningsih, A. (2020). Analisis Penggunaan PVD pada Tanah Lempung yang Terdapat Lapisan Lensa. *Jurnal Mitra Teknik Sipil* 3(1):119-134.
- SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Sertifikasi Nasional Indonesia.
- Suardi, E., Liliwarti, Misriani, M., Iqbal, I. (2021). Perbaikan Tanah Lempung Lunak dengan Metode *Preloading* pada Jalan Tol Palembang – Indralaya STA 1+670. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil* 10(2):191-201.
- Suhendra A., Irsyam M. Studi Aplikasi *Vacuum Preloading* Sebagai Metode Alternatif Percepatan Proses Konsolidasi pada Tanah Lempung Lunak Jenuh Air. *Jurnal ComTech*. 2(2): 1055-1065.