

Perbandingan Pengaruh Variasi Panjang Mini Pile terhadap Penurunan dan Daya Dukung Timbunan di Atas Tanah Lanau di Kota Merauke

Comparison of settlement and bearing capacity variation of mini piles with different lengths on embankments over silty soil in the city of Merauke

Muhammad Tharik Kemal¹, Hairulla^{*2}, Yusran Londong Salu³

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Iqra Buru, namlea, Indonesia

²Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Musamus, Merauke, Indonesia

³Satuan Kerja Perencanaan Dan Pengawasan Jalan Nasional Provinsi Papua Selatan

Info Artikel

Diserahkan:

17 Agustus 2026

Direvisi:

30 Agustus 2026

Diterima:

31 Agustus 2026

ABSTRAK

Sebagai salah satu elemen penting infrastruktur transportasi darat, jalan berfungsi menyediakan akses bagi pergerakan manusia dan barang dengan menjamin aspek keselamatan, kenyamanan, dan efisiensi ekonomi. Pada penelitian ini dianalisis timbunan yang dibangun di atas tanah lanau tanpa mini pile, dengan mini pile sepanjang 2 m, dan dengan mini pile sepanjang 4 m. Mini pile yang digunakan memiliki dimensi $25 \times 25 \text{ cm}^2$ dengan jarak pemasangan antar pile sebesar 1 m. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penurunan (settlement) dan daya dukung tanah pada ruas jalan di Daerah Otonomi Baru (DOB) Provinsi Papua Selatan. Survei topografi dan investigasi geoteknik dilakukan untuk menentukan dimensi jalan serta karakteristik tanah. Selanjutnya, analisis numerik dilakukan menggunakan metode elemen hingga (finite element method). Hasil analisis menunjukkan bahwa perkuatan menggunakan mini pile sepanjang 4 meter menghasilkan deformasi tanah paling kecil dan daya dukung terbesar dibandingkan model lainnya. Pada kondisi pembebanan lalu lintas sebesar 30 kPa dan beban luar badan jalan sebesar 20 kPa, diperoleh nilai penurunan sebesar 12,45 mm dan daya dukung sebesar 20 kPa.

Kata Kunci : Timbunan jalan, tanah lanau, mini pile, penurunan, daya dukung, metode elemen hingga.

ABSTRACT

As a crucial element of land transportation infrastructure, roads facilitate the movement of people and goods while ensuring safety, comfort, and economic efficiency. This study examines embankments constructed on silty soil under three conditions: without mini-piles, with 2-meter mini-piles, and with 4-meter mini-piles. The mini-piles used measured $25 \times 25 \text{ cm}^2$ and were spaced 1 meter apart. The research aims to analyze soil settlement and bearing capacity for a road section in the South Papua Province New Autonomous Region (DOB). Topographic surveys and geotechnical investigations were conducted to determine road dimensions and soil characteristics. Subsequently, numerical analysis was performed using the finite element method. The results indicate that reinforcement using 4-meter mini-piles yielded the least settlement and the highest bearing capacity compared to the other models. Under traffic loading of 30 kPa and an external road body load of 20 kPa, the settlement was 12.45 mm and the bearing capacity was 20 kPa.

Keywords : Road embankment, silty soil, mini-piles, settlement, bearing capacity, finite element method.

Corresponding author email: hairulla@unmus.ac.id



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Ruas Jalan Kuprik – Kampung SP9 – SP3 Salor merupakan jalur akses menuju kawasan perkantoran pemerintahan Daerah Otonomi Baru (DOB) Provinsi Papua Selatan. Ruas jalan ini menghubungkan Kota Merauke dengan kompleks perkantoran pemerintah daerah otonomi baru, sehingga menjadi salah satu ruas prioritas yang perlu mendapatkan perhatian pemerintah guna menjamin keamanan dan kenyamanan pengguna jalan yang melintas.

Pelebaran jalan direncanakan pada area box culvert pintu air, di mana pada desain awal jarak sumbu (centerline) antara jalan eksisting dan jalan hasil pelebaran adalah sekitar 11 m. Jarak tersebut berkurang menjadi sekitar 7 m pada Sta. 22+500 hingga Sta. 22+700 sepanjang 200 m. Berdasarkan hasil pengujian sondir (Cone Penetration Test/CPT) dan pemetaan geologi, ruas jalan DOB tersebut berada di atas endapan tanah lanau berbutir halus dengan ketebalan yang cukup besar.

Fondasi merupakan salah satu elemen yang tidak dapat dipisahkan dalam dunia konstruksi, baik pada pekerjaan jalan, jembatan, gedung, maupun struktur lainnya [1]. Keberadaan fondasi sangat penting karena berfungsi untuk meneruskan beban struktur ke lapisan tanah pendukung sehingga stabilitas dan keamanan konstruksi dapat terjamin.

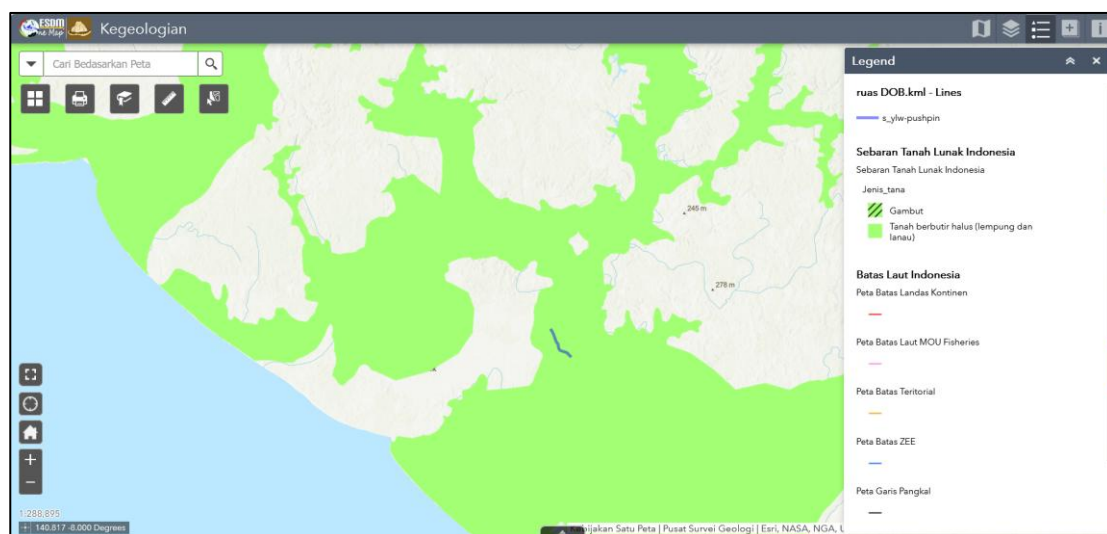
Mini pile merupakan salah satu jenis fondasi dalam yang umumnya digunakan pada bangunan bertingkat. Fondasi ini berfungsi meneruskan beban dari struktur atas ke lapisan tanah yang lebih dalam tanpa menimbulkan penurunan fondasi yang berlebihan [2]. Faktor beban merupakan parameter penting dalam perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang [3]. Selain itu, mini pile memiliki kemampuan untuk menghambat pergeseran tanah pada daerah rawan longsor [4].

Daya dukung tanah merupakan salah satu aspek utama yang harus dipertimbangkan sebelum menentukan jenis fondasi yang akan digunakan pada suatu konstruksi [5]. Timbunan jalan yang dibangun di atas tanah lunak berisiko mengalami gangguan kinerja apabila tidak diberikan perlakuan atau perkuatan yang memadai. Bahkan, kurangnya perkuatan dapat menyebabkan kegagalan timbunan [6]. Oleh karena itu, pemilihan jenis dan dimensi fondasi tiang merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan konstruksi agar mampu menahan beban bangunan yang akan didirikan [7].

Kombinasi mini pile dan geotekstil telah terbukti efektif, terutama apabila diterapkan pada lapisan tanah keras atau digunakan untuk menembus lapisan tanah lunak [8]. Penggunaan fondasi tiang dengan ukuran standar sering kali dianggap kurang ekonomis, sehingga salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah fondasi mini pile yang dinilai cukup kuat sekaligus ekonomis [9]. Daya dukung tanah juga merupakan parameter yang sangat penting dalam perencanaan konstruksi karena berpengaruh langsung terhadap keamanan dan stabilitas struktur [10].

Fondasi mini pile telah banyak digunakan pada berbagai jenis konstruksi dengan beban ringan hingga berat [11]. Pada beberapa struktur, batas perpindahan atau deformasi tiang ditetapkan relatif kecil untuk mencegah terjadinya kerusakan pada struktur yang didukungnya [12]. Selain itu, tingginya volume dan beban lalu lintas sering menyebabkan kerusakan jalan lebih cepat dari umur rencananya. Untuk mengurangi risiko tersebut, penggunaan geotekstil dapat menjadi salah satu solusi perkuatan yang efektif. Berdasarkan SNI 8460:2017 [13], deformasi permanen sisa yang diukur setelah proses pembebanan, pembongkaran beban, dan pembebanan ulang hingga 200% dari beban yang diterapkan tidak boleh melebihi 12 mm BSN, 2017[13].

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak PLAXIS 2D untuk menganalisis pengaruh variasi panjang mini pile terhadap perilaku daya dukung dan penurunan pada timbunan jalan yang dibangun di atas tanah lanau. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (finite element method) dengan memodelkan sistem fondasi yang diperkuat mini pile, di mana panjang mini pile dijadikan sebagai variabel utama penelitian [14]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi sejauh mana variasi kedalaman mini pile dapat meningkatkan daya dukung tanah dan mengurangi penurunan yang terjadi. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam penerapan fondasi mini pile pada kondisi geoteknik di Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan, Indonesia.



Gbr. 1. Lokasi penelitian (Geoportal ESDM)

Ruas jalan Kuprik – Kampung SP9 – SP3 terletak di Distrik Kurik Kabupaten Merauke. Lokasi awal pada sta 19+300 dengan koordinat X : 433345.00 mE dan Y 9084221.00 mS dan akhir penanganan pada sta 23+149 dengan koordinat X: 431210.00 mE dan Y: 9087103.00 m S.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pemodelan Mini Pile

Mini pile umum digunakan sebagai elemen perkuatan tanah, terutama pada tanah lunak. Dalam pemodelan menggunakan metode elemen hingga (finite element method), mini pile dimodelkan sebagai embedded beam row karena elemen ini mampu menahan beban aksial dan momen lentur yang bekerja pada struktur.

Parameter utama yang diperlukan dalam pemodelan meliputi EA (kekakuan aksial/axial rigidity) dan EI (kekakuan lentur/bending stiffness). Nilai-nilai parameter tersebut digunakan untuk merepresentasikan perilaku struktural mini pile dalam model numerik.

Tabel 1. menyajikan parameter mini pile berukuran 250×250 mm yang digunakan dalam studi parametrik pada penelitian ini.

		Mini pile	unit
Normal Stiffness	EA	625000	kN/m
Flexural Rigidity	EI	3255.20	kNm^2/m

2.2. Pemodelan Geotekstil Woven

Geotekstil woven memiliki karakteristik utama berupa kuat tarik yang tinggi, sedangkan tanah alami pada umumnya memiliki kuat tekan yang cukup besar tetapi kemampuan menahan gaya tarik yang rendah. Kombinasi kedua material dengan sifat yang saling melengkapi tersebut memungkinkan geotekstil berfungsi sebagai elemen perkuatan yang efektif dalam meningkatkan kinerja massa tanah dan stabilitas struktur secara keseluruhan.

Oleh karena itu, geotekstil telah banyak diterapkan pada berbagai pekerjaan stabilisasi dan perbaikan tanah untuk mengurangi deformasi serta mencegah terjadinya keruntuhan konstruksi. Dalam pemodelan menggunakan metode elemen hingga (finite element method), geotekstil dimodelkan sebagai geogrid, karena elemen ini mampu menahan dan mendistribusikan beban melalui mekanisme tarik.

Parameter utama yang diperlukan dalam pemodelan geotekstil adalah EA (axial rigidity) atau kekakuan aksial, yang merepresentasikan kemampuan geotekstil dalam menahan gaya tarik dan berkontribusi terhadap perkuatan tanah pada model numerik.

Tabel 2. Parameter Material Geotekstil Woven

Parameter	Name	Value	unit
Normal Stiffness	EA	69.34	kN/m

Pada penelitian ini, model timbunan yang dianalisis didasarkan pada kondisi Ruas Jalan Kuprik – Kampung SP9 – SP3 Salor. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (Finite Element Method/FEM) untuk mengevaluasi besarnya penurunan (settlement) serta memprediksi daya dukung tanah pada timbunan yang diperkuat.

Tiga alternatif perkuatan tanah dipertimbangkan dalam penelitian ini, yaitu: (1) menggunakan geotekstil, (2) menggunakan kombinasi geotekstil dan mini pile berukuran 25×25 cm² dengan kedalaman 2 m, serta (3) menggunakan kombinasi geotekstil dan mini pile berukuran 25×25 cm² dengan kedalaman 3 m. Mini pile dipasang dengan jarak antar tiang sebesar 1 m.

Berdasarkan data investigasi tanah, lapisan tanah lempung sangat lunak hingga lunak pada lokasi penelitian memiliki ketebalan total sekitar 10 m. Timbunan yang direncanakan pada ruas tersebut memiliki tinggi 4,5 m dengan kemiringan lereng timbunan sebesar 1V : 3H. Parameter material timbunan yang digunakan dalam analisis disajikan pada Tabel 3.

Beban lalu lintas yang diterapkan dalam model sebesar 15 kPa, sedangkan pada bahu jalan diberikan beban sebesar 10 kPa yang telah memperhitungkan beban perkerasan di samping beban lalu lintas. Timbunan dan beban lalu lintas diaktifkan pada tahap analisis plastik (plastic calculation) untuk mengevaluasi respons deformasi dan kapasitas dukung sistem timbunan yang diperkuat.

Tabel 3. Parameter Material Timbunan

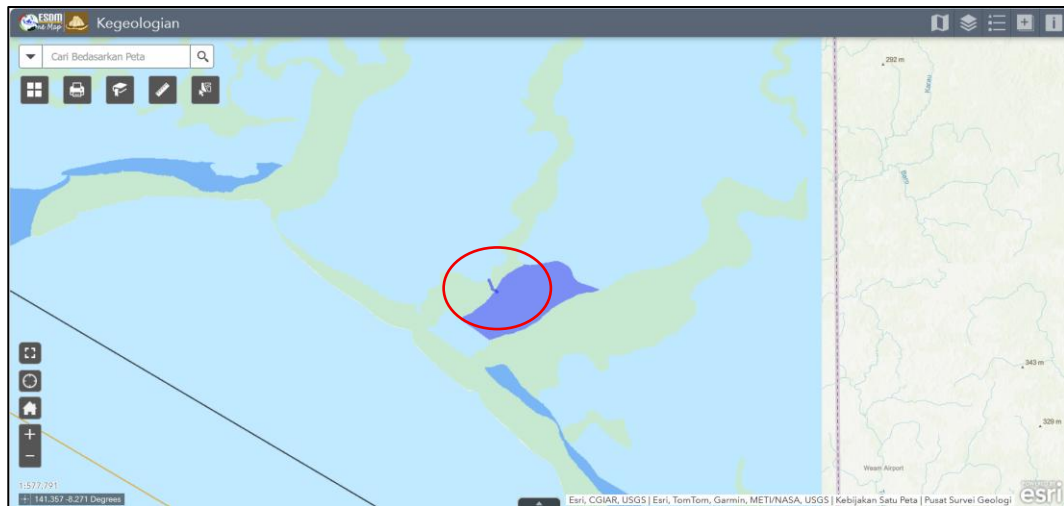
Material	γ_{unsat} (kN/m^3)	γ_{sat} (kN/m^3)	E' (kPa)	ν	c' (kPa)	ϕ °
Compacted fill	16	18	25000	0.3	5.0	25

2.3. Kondisi Geologi

Ruas jalan di Daerah Otonomi Baru (DOB) Papua Selatan berada pada kawasan yang didominasi oleh tanah berbutir halus, yaitu tanah lempung dan tanah lanau. Wilayah yang tersusun oleh tanah berbutir halus seperti lempung dan lanau umumnya dikategorikan sebagai daerah dengan kondisi tanah lunak.

Tanah-tanah tersebut memiliki perilaku plastis, bersifat lengket ketika basah, memiliki daya dukung yang rendah, serta rentan mengalami penurunan (konsolidasi) akibat pembebanan. Kondisi ini menjadi salah satu tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur, khususnya konstruksi jalan dan timbunan di atas tanah lunak.

Tanah lanau memiliki karakteristik yang berada di antara tanah pasir dan tanah lempung. Dibandingkan dengan lempung, tanah lanau memiliki tingkat plastisitas yang lebih rendah dan permeabilitas yang lebih tinggi, sehingga air dapat mengalir melaluinya dengan lebih mudah. Namun demikian, tanah lanau tetap memiliki potensi mengalami penurunan dan masalah stabilitas apabila menerima beban yang melebihi kapasitas dukungnya. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan geoteknik yang tepat untuk menjamin kinerja dan keamanan konstruksi yang dibangun di atasnya.

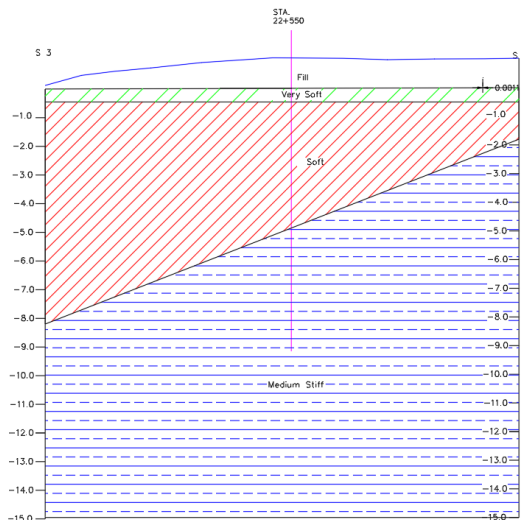


Gbr. 2. Peta Geologi Lokasi Penelitian (Geoportal ESDM)

Sebanyak 2 data Cone Penetration Test (CPT) tersedia dan digunakan dalam penelitian ini, dengan stratifikasi tanah yang ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan data tersebut, model geoteknik yang digunakan dalam penelitian disusun untuk merepresentasikan kondisi tanah di lokasi studi.

Nilai rata-rata tahanan konus (cone resistance) serta parameter tanah untuk setiap lapisan disajikan pada Tabel 4. Parameter-parameter tersebut diperoleh melalui korelasi empiris yang dikembangkan oleh Look (2007). Selanjutnya, parameter hasil korelasi digunakan sebagai masukan dalam analisis numerik menggunakan metode elemen hingga.

Model konstitutif yang digunakan untuk lapisan tanah lanau adalah Mohr-Coulomb Undrained A, yang dipilih untuk merepresentasikan perilaku tanah dalam kondisi tak terdrainase (undrained condition) selama proses pembebanan. Model ini memungkinkan simulasi respons tegangan-regangan tanah dengan mempertimbangkan parameter kuat geser dan deformasi yang relevan terhadap kondisi lapangan.



Gbr. 3. Stratigrafi Tanah pada Ruas Jalan Kuprik – Kampung SP9 – SP3 Salor

Gambar 3 menggambarkan timbunan pada bagian paling atas. Lapisan kedua berupa tanah sangat lunak dengan ketebalan sekitar 50 cm. Tanah lunak pada lapisan kedua setebal 2 – 9 meter. Lapisan ketiga merupakan lapisan kaku yang medium, lapisan medium kaku ini ditemukan pada kedalaman -2 meter pada titik sondir ke 2 dan -8 meter pada titik sondir ke 3. Pengujian sondir dilakukan sampai kedalaman 15 meter. Hasil pengujian sondir tersebut menunjukkan tanah medium kaku terdapat hingga elevasi -15 m dari permukaan.

Table 4. Propertis Tanah

Model	Embankment Mohr-coulomb	Very Soft Mohr-coulomb	Soft Mohr-coulomb	Medium Stiff Mohr-coulomb	Unit
Type	Drained	Drained	Drained	Drained	-
γ_{unsat}	16	16	16	16	kN/m^3
γ_{sat}	18	18	18	18	kN/m^3
k_x	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	m/day
k_y	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	m/day
E_{ref}	25000	3923	7845	15691	kN/m^2
ν	0.35	0.35	0.35	0.35	-
c_{ref}	5.0	13.5	26	51	kN/m^2
ϕ	25	25	25	25	$^\circ$
ψ	0	0	0	0	$^\circ$
R_{inter}	0.3	0.3	0.3	0.3	-

Tabel 4 merupakan daftar propertis tanah untuk masing-masing layer tanah. Pada table ini diurutkan tipe, berat jenis, nilai permeabilitas, modulus elastisitas, poisson rasio, kohesi, sudut geser, dilantansi, hingga nilai geser selimut dari tanah.

2.4. Kajian Parametrik Mini Pile

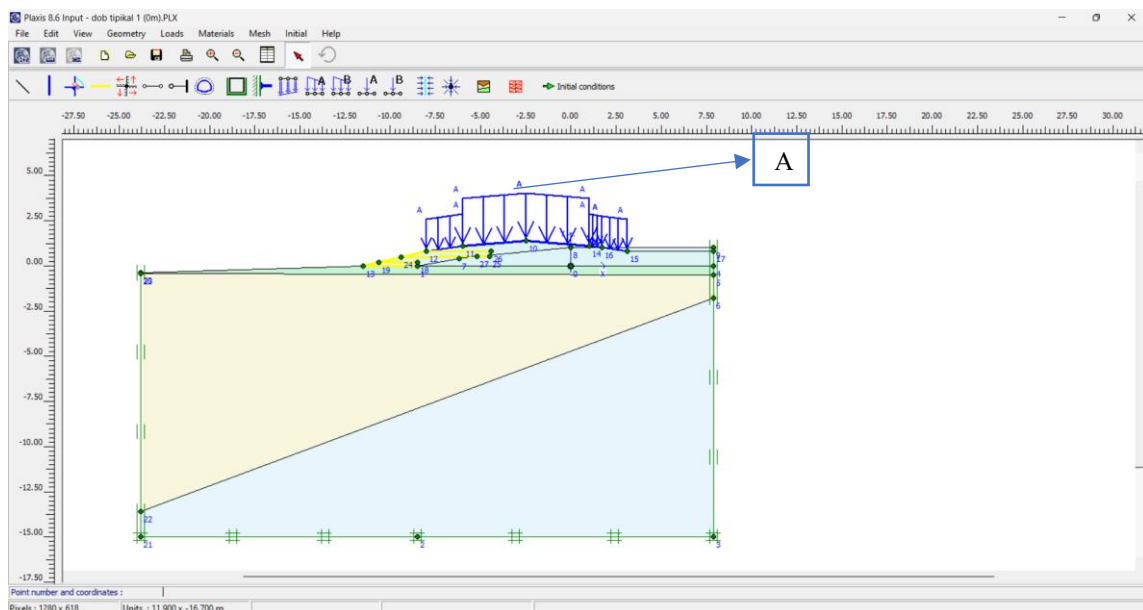
Studi parametrik dilakukan untuk mengevaluasi kinerja mini pile dengan berbagai konfigurasi. Pada konfigurasi kelompok mini pile (pile cluster), panjang tiang divariasikan dari 2 m hingga 3 m dengan interval 1 m. Selain itu, dilakukan pula analisis tambahan untuk mengevaluasi kinerja kelompok mini pile apabila ujung tiang masih berada pada lapisan tanah lunak.

Mini pile yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dimensi 250×250 mm. Variasi dimensi dan konfigurasi mini pile yang dianalisis dalam studi parametrik ini dirangkum pada Tabel 5.

Table 5. Dimensi Mini Pile

Parameter	Mini Pile
Diameter/Size	250 x 250 mm
Length	2 m, 3 m
Spacing	1.0 m

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

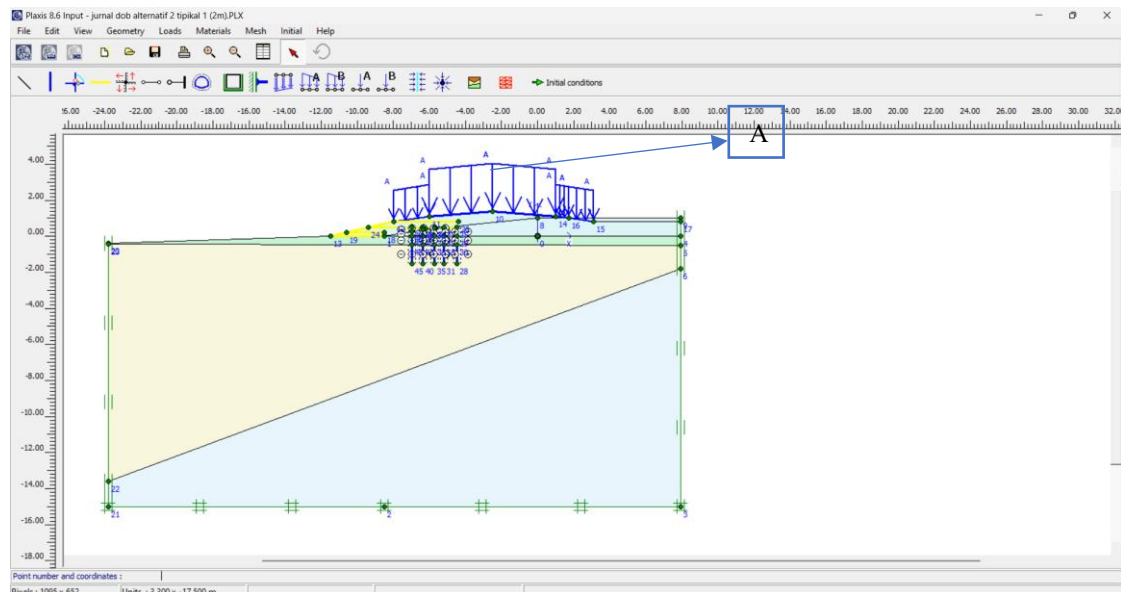


Gbr. 4. Geometri Model Elemen Hingga pada Timbunan yang Diperkuat dengan Geotekstil Woven

Hasil dan Pembahasan menyajikan temuan penelitian utama secara sistematis melalui tabel, grafik, atau ilustrasi yang relevan, diikuti dengan analisis dan interpretasi ilmiah yang mengaitkan hasil dengan tujuan penelitian, teori, dan penelitian terdahulu. Pembahasan menekankan makna ilmiah, keunggulan dan keterbatasan hasil, faktor yang memengaruhi, serta implikasi dan potensi pengembangan, disusun secara objektif, analitis, dan terintegrasi tanpa pengulangan metode.

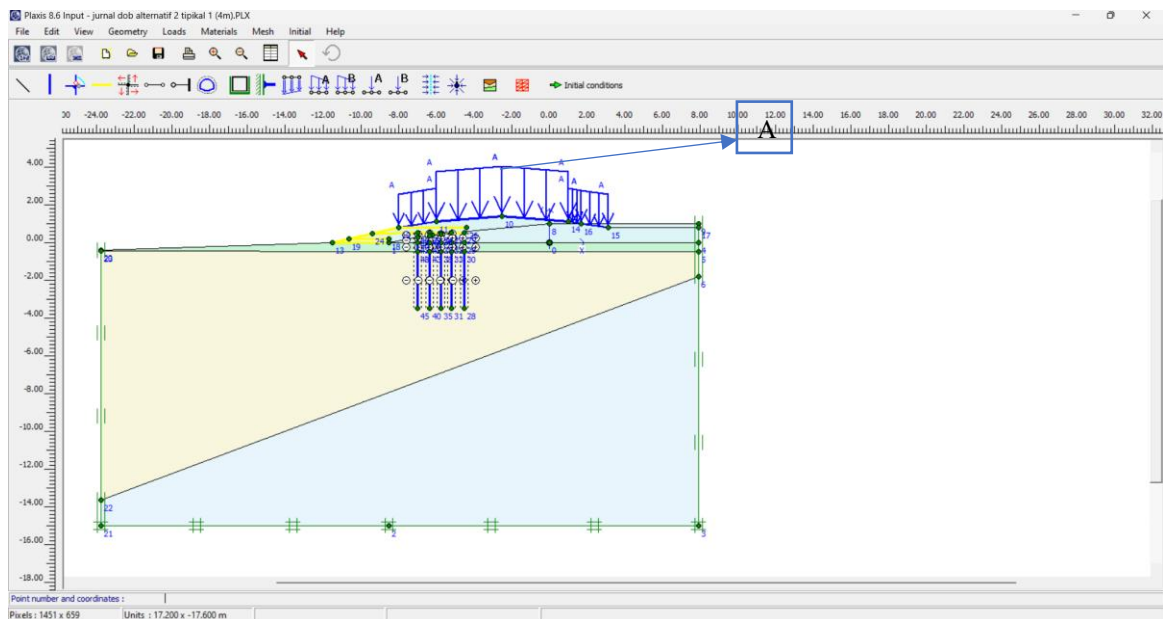
Timbunan dibangun di atas tanah lanau dengan lebar jalan sebesar 11 m, yang terdiri atas perkerasan aspal selebar 7 m serta bahu jalan selebar 2 m pada sisi kiri dan kanan. Beban rencana yang diterapkan terdiri atas 15 kPa pada perkerasan aspal dan 10 kPa pada bahu jalan.

Titik A ditambahkan pada model untuk menganalisis penurunan (settlement) dan daya dukung (bearing capacity). Gambar 2 menunjukkan model numerik timbunan yang dibangun di atas tanah lanau dan diperkuat menggunakan geotekstil woven.

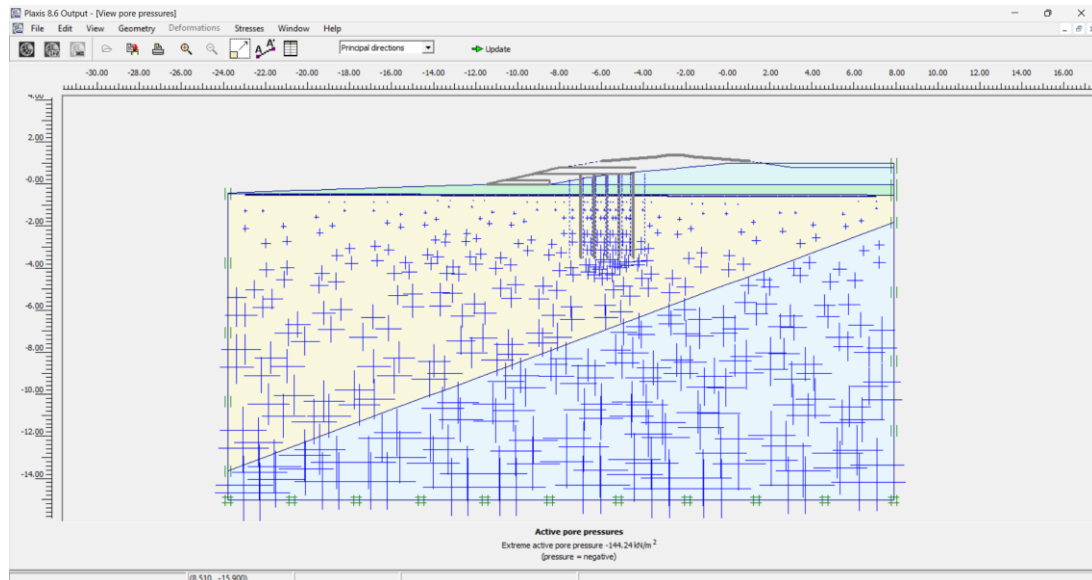


Gbr. 5. Geometri Model Elemen Hingga dengan Perkuatan Mini Pile Kedalaman 2 m

Geometri timbunan dan kondisi pembebanan yang digunakan sama seperti pada model sebelumnya, dengan tambahan perkuatan berupa mini pile berpenampang $25 \times 25 \text{ cm}^2$, memiliki panjang 2 m, dan dipasang dengan jarak antar tiang 1 m, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.



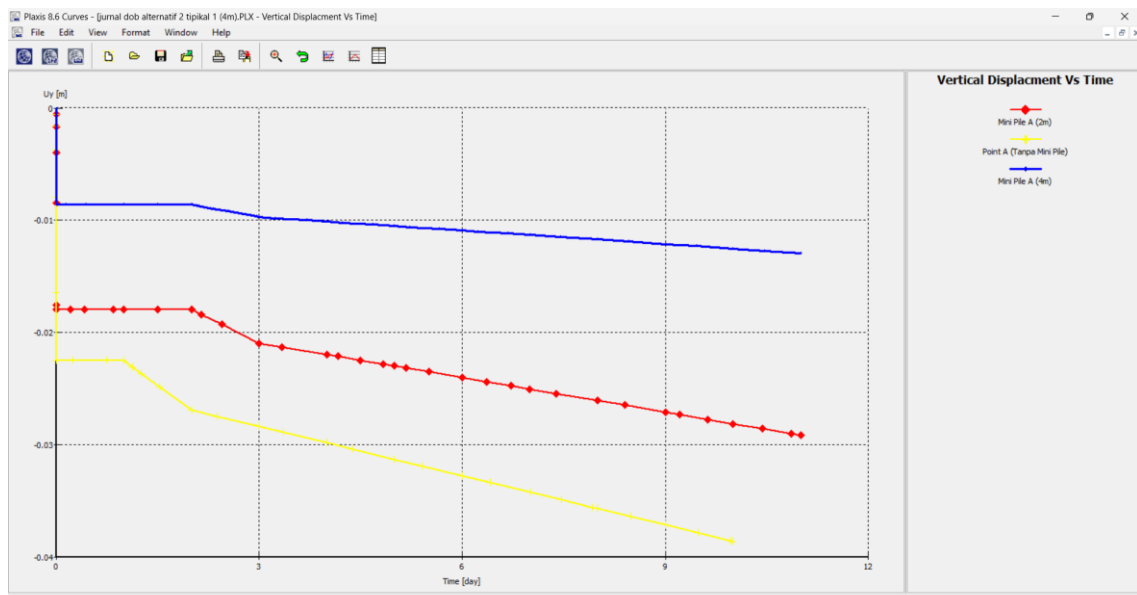
Gbr. 6. Geometri model elemen hingga pada kondisi timbunan yang diperkuat dengan mini pile sepanjang 4 m.



Gbr. 7. Tekanan Air Pori Aktif.

Geometri timbunan, kondisi pembebanan, dan konfigurasi mini pile pada model ini dibuat sama dengan model sebelumnya. Namun, panjang mini pile diperpanjang hingga mencapai kedalaman 4 m. Pada seluruh model yang dianalisis, muka air tanah ditetapkan pada elevasi 0,0 m.

Data pembebanan untuk pengujian beban pada model tanpa mini pile, model dengan mini pile sepanjang 2 m, dan model dengan mini pile sepanjang 4 m disajikan pada Tabel 6. Beban tersebut dijadikan sebagai parameter pembebanan dalam analisis numerik menggunakan PLAXIS yang telah dijelaskan sebelumnya.

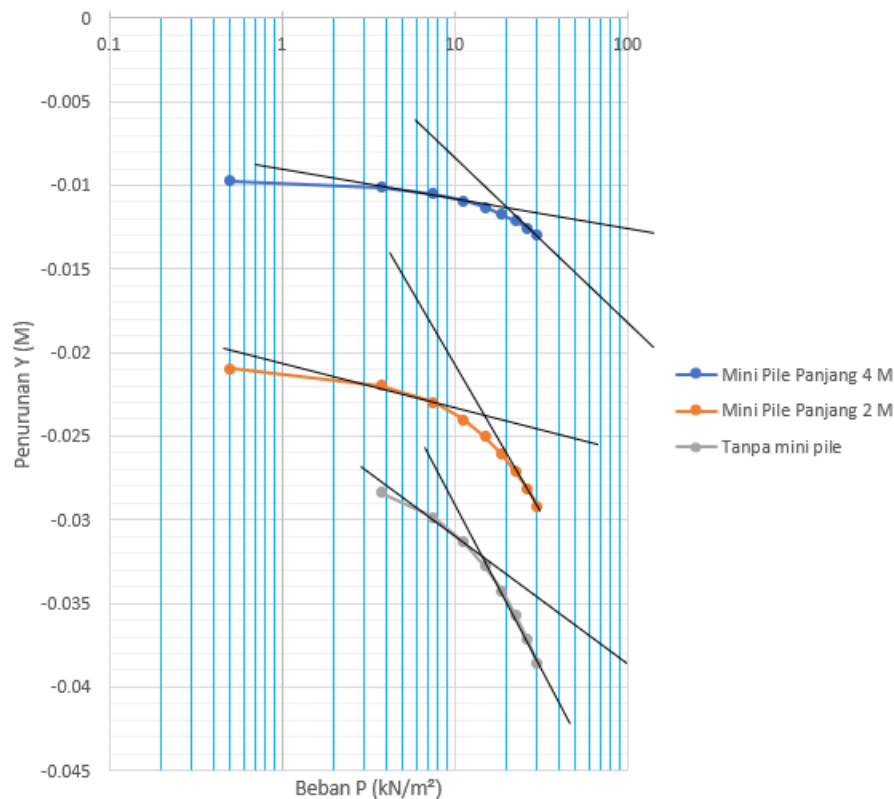


Gbr. 8. Kurva beban–penurunan timbunan untuk model tanpa mini pile, model dengan mini pile panjang 2 m, dan model dengan mini pile panjang 4 m.

Tabel 6. Data Pembebanan

Loading stage	P (kN/m)	
	asphalt	shoulder
1 (25%)	3.75	2.5
2 (25%)	7.5	5
3 (75%)	11.25	7.5
4 (100%)	15	10
5 (125%)	18.75	12.5
6 (150%)	22.5	15
7 (175%)	26.25	17.5
8 (200%)	30	20

Grafik 8 menunjukkan bahwa timbunan tanpa perkuatan mini pile mengalami penurunan sebesar 32,77 mm dan 38,61 mm pada pembebanan 100% dan 200%. Nilai penurunan tersebut relatif besar dan berpotensi menurunkan kinerja perkerasan jalan akibat beban lalu lintas. Penerapan perkuatan mini pile secara signifikan mengurangi penurunan menjadi 25,04 mm dan 29,17 mm pada pembebanan 100% dan 200%. Kinerja terbaik diperoleh pada penggunaan mini pile dengan panjang 4 m, yang mampu menurunkan besarnya penurunan menjadi 11,32 mm dan 12,45 mm masing-masing pada pembebanan 100% dan 200%.



Gbr. 9. Kurva beban–penurunan untuk penentuan daya dukung timbunan pada model tanpa mini pile, model dengan mini pile panjang 2 m, dan model dengan mini pile panjang 4 m.

Hasil yang diperoleh dari analisis numerik menunjukkan bahwa daya dukung meningkat seiring dengan bertambahnya panjang mini pile[15]. Model tanpa perkuatan mini pile menunjukkan daya dukung sekitar 13 kN/m². Penggunaan mini pile sepanjang 2 m meningkatkan daya dukung menjadi 14 kN/m², sedangkan penggunaan mini pile sepanjang 4 m meningkatkan daya dukung lebih lanjut hingga mencapai 20 kN/m².

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan mini pile panjang 4 meter dapat sebagai perkuatan timbunan efektif dalam mengurangi potensi penurunan 34,54% dan 32,25% terhadap timbunan tanpa perkuatan mini pile pascaoperasi dan meningkatkan daya dukung timbunan sebesar 65%. Peningkatan panjang mini pile memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan daya dukung. Selain itu, mini pile dengan panjang yang lebih besar mampu mengurangi deformasi/penurunan timbunan akibat beban operasional lalu lintas. Kontribusi ilmiah menjadi rujukan praktisi untuk pekerjaan perbaikan tanah lunak di Propinsi Papua Selatan. Kebaruan dari penelitian adalah analisa penurunan perkuatan badan jalan di pada tanah lanau. Saran untuk penelitian berikutnya agar dikembangkan analisa angka keamanan, distribusi tekanan air pori, dan pengaruh friksi slimut negatif.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ir. Gustom Biliater selaku Direktur Utama PT Bumi Persada Engineering Consultants atas dukungan teknis dan administratif yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Dukungan tersebut berkontribusi dalam penyediaan informasi dan fasilitas yang mendukung proses analisis penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Ananda, E. Tifani, M. G. Garcya, and R. Dearn, "Comparative Study of Settlement of Precast Deformed Mini Piles With Shredded and Plain Against Mangrove Wood Piles Based on Pile Settlement As Deep Foundation Reinforcement," *Int. Conf. Ind. Technol.*

- Bus.*, pp. 78–82, 2025.
- [2] K. K. T. K. Tempadung, D. T. Asmoro, and D. S. Pratiwi, “Overview of Mini Pile Erection Using Drop Hammer Technique (A Case Study of STA 10 + 161 , IKN Segment 3B Toll Road Project ,” vol. 3, no. 1, pp. 1–8, 2024.
- [3] Z. F. Haza, “Studi Drag Force Gelombang Air Laut Terhadap Fondasi Tiang Mini (Minipile) Di Kawasan Pantai Parangtritis,” *Sci. Tech J. Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 28–35, 2015, doi: 10.30738/jst.v1i1.472.
- [4] N. Zahera, M. Widiastuti, and T. S. P. Arifin, “Analisis Kekuatan Struktur Minipile Pasca Keruntuhan dengan Menggunakan Software Plaxis V8.6,” *J. Teknol. Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 29–39, 2019.
- [5] R. Yovica, A. T. Munthe, A. Sumarno, and A. Wirastana, “Comparative Analysis of Carrying Capacity of Mini Pile Foundation and Well Case Study of Oil Palm Factory Development , Central Kalimantan Province,” *J. World Conf.*, vol. 4, no. 4, pp. 191–198, 2022.
- [6] P. Kevin, “Embankment on Pile: Performance Comparison of Bamboo and Mini Pile For Settlement Reduction and Stabilization of Embankment Over Soft Soil,” *Indones. Geotech. J.*, vol. 4, no. 2, pp. 113–126, 2025, doi: 10.56144/igj.v4i2.123.
- [7] A. Teknis, D. Dukung, and P. Bore, “aintis,” vol. 15, pp. 14–30, 2015.
- [8] Y. P. A. Rumbyarso and G. Pribadi, “Analysis of Landslide Handling With Mini Pile Reinforcement Using Plaxis Software on The ‘X’ Toll Road Project,” *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 7, no. 2, pp. 801–810, 2024, doi: 10.31004/jutin.v7i2.27026.
- [9] J. Adhiyaksa and N. Kayutangi, “E-issn: 2656-6001,” 2023.
- [10] S. Wahyuni, G. Yanti, Z. Zainuri, and T. Hidayat, “Analisis Redesain Pondasi Mini Pile Berbentuk Persegi Pada Gedung Pengadilan Negeri Pulau Punjung,” *Sainstek (e-Journal)*, vol. 10, no. 1, pp. 80–88, 2022, doi: 10.35583/js.v10i1.222.
- [11] F. M. A. E. T. Pamungkas, E. Gardjito , S. Winarto, “Meningkatkan Daya Dukung Tanah dengan Pondasi Mini Pile,” *Jurmateks*, vol. 4, 2021, doi: 10.1016/j.sandf.2016.01.009.A.
- [12] S. Yatnikasari, Vebrian, D. S. Pratiwi, F. Agustina, and U. W. M. Liana, “Analisa Daya Dukung Minipile Menggunakan Metode Meyerhof Berdasarkan Data Spt Dan Pda (Stidi Kasus : Taxiway Bandara Apt Pranoto Samarinda),” *Tek. Sipil Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, pp. 116–123, 2016.
- [13] S. Persyaratan Perancangan Geoteknik, “Persyaratan Perancangan Geoteknik,” *Standar Nas. Indones.*, vol. 8460, pp. 1–323, 2017.
- [14] M. E. Ardiansyah, A. Aliehudien, and A. Gunasti, “Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang dengan Alat Berat Drop Hammer dan Hydraulic Static Pile Driver (HSPD),” *Sustain. Civ. Build. Manag. Eng.*, vol. 1, no. 1, p. 68, 2024, doi: 10.47134/scbmej.v1i1.2152.
- [15] E. Y. D. Boruk, B. Doloksaribu, and C. Utary, “Pengaruh Bentangan Regel Terhadap Kekuatan Dinding Kancingan,” *Musamus J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 01, pp. 8–14, 2024, doi: 10.35724/mjce.v6i01.6010.