

**Study Alternatif Perkuatan Tanah Lunak Pada Pekerjaan Timbunan
Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Pulau Balang – Simpang Riko
Seksi 5B STA 3+525 – 3+650**

Adventus Kristian Tambunan*, Yudhi Lastiasih, Herman Wahyudi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

Email: adventambunan@gmail.com*, yudhi_lastiasih@ce.its.ac.id, herman@ce.its.ac.id

Keywords:

*soft soil, settlement, stability,
substitution*

Abstract

The IKN Freeway segment of the Balang Island Bridge – Simpang Riko section 5B is part of the toll road network supporting the National Capital of the Archipelago. On this segment, there is a work site at Sta 3+525 – 3+650 passing through soft soil where the RTA document plans backfill without base soil treatment, risking long-term road settlement. This study aims to analyze the initial design according to RTA, identify alternative soil improvement methods for settlement and stability, and determine the most efficient and effective method. The methods include manual settlement and stability analysis as well as numerical modeling with Plaxis 2D on three alternatives: soil substitution (1m, 2m, 3m), PVD (triangular/square patterns with 1m/1.5m spacing), and mini piles (6m, 8m, 12m), then evaluated using pro-con analysis based on stability, cost, time, and workability. The results show that the initial design without soft soil treatment does not meet design criteria because 90% consolidation is only achieved in 9.28 years, exceeding the 9-month construction period. The 3m substitution method produced 0.30m settlement with 6.36 months consolidation, triangular PVD with 1m spacing produced 0.82m settlement with <6 months consolidation, while the 12m mini pile produced the smallest settlement (0.20m) and highest safety factor (2.09). Based on pro-con analysis, the 3m substitution method with geotextile reinforcement is the most efficient overall with the highest score (3.8), outperforming PVD (3.7) and mini piles (2.6).

Kata Kunci:

tanah lunak, settlement, stabilitas,
substitusi

Abstrak

Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B merupakan bagian dari jaringan jalan tol penunjang Ibu Kota Negara Nusantara. Pada ruas tersebut, terdapat lokasi pekerjaan yang melewati tanah lunak di Sta 3+525 – 3+650 yang dalam dokumen RTA direncanakan timbunan tanpa penanganan tanah dasar, sehingga berisiko terjadi penurunan elevasi jalan jangka panjang. Penelitian ini bertujuan menganalisis desain awal sesuai RTA, mengidentifikasi alternatif perbaikan tanah untuk penurunan dan stabilitas, serta menentukan metode paling efisien dan efektif. Metode yang digunakan meliputi analisis pemampatan dan stabilitas secara manual serta pemodelan numerik Plaxis 2D pada tiga alternatif: substitusi tanah (1m, 2m, 3m), PVD (pola segitiga/segiempat spasi 1m/1,5m), dan mini pile (6m, 8m, 12m), kemudian dievaluasi dengan analisis pro-kontra berdasarkan stabilitas, biaya, waktu, dan workability. Hasil menunjukkan desain awal tanpa penanganan tanah lunak tidak memenuhi kriteria desain karena derajat konsolidasi 90% baru tercapai dalam 9,28 tahun, melampaui masa konstruksi 9 bulan. Metode substitusi 3m

menghasilkan penurunan 0,30m dan waktu konsolidasi 6,36 bulan, PVD segitiga spasi 1m menghasilkan penurunan 0,82m dengan waktu konsolidasi <6 bulan, sedangkan mini pile 12m menghasilkan penurunan terkecil (0,20m) dan faktor keamanan tertinggi (2,09). Berdasarkan analisis pro-kontra, metode substitusi 3m dengan perkuatan geotekstil merupakan alternatif paling efisien secara keseluruhan dengan skor tertinggi (3,8), mengungguli PVD (3,7) dan mini pile (2,6).

PENDAHULUAN

Pengembangan infrastruktur merupakan salah satu kunci pemerataan ekonomi dan pengembangan daerah di Indonesia. Pembangunan jalan tol salah satu contoh infrastruktur yang dapat mempermudah pergerakan manusia, barang, dan jasa sehingga dapat mengembangkan potensi daerah dan menumbuhkan tingkat perekonomian (Chaiyaput et al., 2023; Lastiasih & Tantri K.S., 2015; Wu et al., 2021).

Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B merupakan bagian dari jaringan jalan tol penunjang Ibu Kota Negara Nusantara di Provinsi Kalimantan Timur. Berdasarkan Rencana Teknik Akhir (RTA), panjang total Jalan Tol IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B ini adalah 13.275 m, dengan penanganan struktur pada jalan tol ini yang terdiri atas 2 jembatan dengan total panjang 337 m, 6 lokasi pile slab dengan total panjang 1241 m, dan 5 overpass dengan total panjang 570.7 m. Lokasi pekerjaan Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B (Marga, 2005, 2009).

Kondisi eksiting Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B sepanjang 13,275 m dilalui bermacam-macam area seperti perhutanan, sungai, dan perkebunan sawit. Trase jalan tol ini berada pada tanah datar, lembah, dan perbukitan dengan kondisi tanah yang berbeda-beda. Hal tersebut menyebabkan bervariasinya pekerjaan yang dilakukan untuk membentuk badan jalan, di antaranya terdapat pekerjaan galian, timbunan, jembatan, dan struktur *pile slab*.

Pada ruas Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B, terdapat beberapa lokasi pekerjaan yang melewati kondisi tanah lunak yang perlu dilakukan perbaikan salah satu lokasinya adalah di Sta 3+525 – 3+650. Pada Gambar 1.2 dapat dilihat bahwa rencana trase jalan tol pada Sta 3+525 – 3+650 terletak di bekas area perkebunan dan digenangi oleh air. Pada saat dilakukan *clearing* di area tersebut ditemukan lapisan tanah yang berwarna kuning dan abu abu pekat. Secara detail pada dokumen RTA pada area tersebut direncanakan pekerjaan timbunan tanpa penanganan tanah dasar. Pada Dokumen RTA area tanah lunak ini memiliki kombinasi timbunan 6 sd 7 meter.

Dengan ditemukannya lapisan tanah lunak di Sta 3+525 – 3+650, maka perbaikan tanah perlu dilakukan untuk meningkatkan stabilitas jalan tol yang akan dibangun di atasnya. Untuk perencanaannya, perlu diketahui jenis tanah di daerah Sta 3+525 – 3+650 dengan cara melakukan tes boring yang hasilnya diberikan pada Gambar 1.4 dan deskripsi lapisan tanah pada Tabel 1.2. Berdasarkan hasil tes Boring SPT diketahui bahwa lapisan tanah didominasi tanah lempung dengan nilai NSPT 2 sampai 5, sehingga termasuk kedalam kategori tanah berkonsistensi sangat lunak hingga lunak hingga ketebalan 5 m.

Adanya tanah lunak tersebut akan sangat beresiko terhadap kestabilan dan penurunan elevasi jalan yang dibangun di atasnya. Untuk menghindari kegagalan yang mungkin akan terjadi, di lokasi tersebut diperlukan perbaikan tanah, hanya saja dalam dokumen RTA belum terdapat metode perbaikan tanah untuk mengatasi masalah tersebut dan dikhawatirkan akan

adanya potensi penurunan elevasi jalan di atasnya dalam jangka panjang akibat terjadinya penurunan atau *settlement* (Abdelbaset & Arafa, 2023; Aslam & Gofar, 2022b, 2022a; Garo et al., 2024; Tanyıldızı et al., 2023).

Pada Proyek jalan tol ini diperlukan metode kerja yang memiliki waktu pelaksanaan yang efisien dan efektif dalam pelaksanaan konstruksi. Beberapa alternatif metode perbaikan tanah yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi masalah stabilitas dan penurunan pada timbunan jalan yang dibangun diatas tanah lunak antara lain berupa substitusi soil, PVD, dan minipile. Sedangkan metode perkuatan timbunan yang dapat digunakan untuk mengantisipasi masalah stabilitas timbunan berupa penggunaan geotextile atau cerucuk.

Beberapa alternatif perbaikan dan perkuatan tanah yang sudah disebutkan untuk menanggulangi permasalahan yang terjadi pada pelaksanaan pekerjaan timbunan Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B akan dilakukan pro dan kontra untuk mengetahui metode manakah yang paling tepat untuk dilakukan dilokasi penelitian. Pro dan kontra yang akan dinilai adalah dari aspek stabilitas, biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan *workability*.

Beberapa penelitian terkait alternatif perkuatan tanah lunak pada pekerjaan timbunan jalan telah dilakukan, antara lain oleh M & Gofar, (2024) yang menunjukkan kombinasi substitusi tanah dan perkuatan geotekstil efektif meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi deformasi timbunan di atas tanah lunak, (Daryanto & Mochtar, 2025) yang menemukan substitusi parsial dengan ketebalan 2-3 meter dapat mengurangi pemampatan tanah dasar secara signifikan, (Saragih & Wulandari, 2023) yang membuktikan kombinasi substitusi dan preloading mampu mempercepat konsolidasi dan mengurangi penurunan tanah dasar, (Pradipta & W, 2023) yang mengkaji kombinasi substitusi, shear key, dan timbunan efektif meningkatkan daya dukung tanah ekspansif, (Sari & Istiatun, 2022) yang menyimpulkan perkuatan geotekstile mampu meningkatkan faktor keamanan stabilitas timbunan di atas tanah lunak, serta (Aziz & Wahyudi, 2025) yang menemukan metode substitusi dengan perkuatan geotekstil sebagai alternatif paling efisien pada proyek jalan tol akses Patimban.

Berdasarkan penelitian terdahulu, masih terdapat kesenjangan penelitian yang perlu diisi. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada satu atau dua metode perbaikan tanah secara terpisah, sementara penelitian yang membandingkan secara komprehensif tiga metode alternatif (substitusi, PVD, dan mini pile) dalam satu lokasi penelitian masih terbatas. Penelitian tentang perkuatan tanah lunak pada proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B juga belum pernah dilakukan sebelumnya. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada pengkajian komparatif tiga metode alternatif perbaikan tanah lunak (substitusi, PVD, dan mini pile) pada lokasi yang sama dengan mempertimbangkan empat aspek penilaian, yaitu stabilitas, biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan *workability*. Penelitian ini juga menggunakan analisis numerik dengan Plaxis 2D untuk memodelkan perilaku tanah dan timbunan pada setiap alternatif metode, sehingga menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara teknis.

Berdasarkan identifikasi kondisi lapangan serta data yang tersedia, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah desain awal sesuai RTA (tanpa penanganan tanah lunak) memenuhi kriteria desain dan persyaratan penurunan, bagaimana alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah penurunan yang terjadi, bagaimana alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah stabilitas yang terjadi, dan metode manakah yang paling tepat untuk menanggulangi masalah penurunan dan stabilitas. Sejalan dengan

rumusan masalah tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah desain awal sesuai RTA memenuhi kriteria desain dan persyaratan penurunan, mengetahui alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah penurunan yang terjadi, mengetahui alternatif metode perbaikan tanah untuk menanggulangi masalah stabilitas yang terjadi, serta mengetahui metode yang paling efisien dan efektif untuk menanggulangi masalah penurunan dan stabilitas pada Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B.

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat teoretis maupun praktis. Secara teoretis, penelitian ini dapat memperkaya khasanah ilmu pengetahuan di bidang geoteknik dan rekayasa jalan, khususnya mengenai efektivitas berbagai metode perbaikan tanah lunak pada pekerjaan timbunan jalan. Secara praktis, penelitian ini bermanfaat bagi perencana dan kontraktor sebagai panduan dalam memilih metode perbaikan tanah lunak yang paling efisien dan efektif, bagi pengambil kebijakan sebagai bahan pertimbangan dalam menyusun spesifikasi teknis proyek konstruksi di atas tanah lunak, serta bagi peneliti selanjutnya sebagai referensi untuk mengembangkan penelitian lebih lanjut dengan pendekatan dan variabel yang lebih beragam.

METODE

Proses Penelitian

Secara garis besar tujuan penelitian adalah mengkaji alternatif metode perkuatan tanah lunak. Kajian yang ditinjau adalah alternatif mana yang memiliki keefektifan dalam penanganan *settlement* dan stabilitas pada timbunan jalan tol.

Identifikasi masalah

Identifikasi masalah berdasarkan data perencanaan dan gambaran kondisi lapangan, data perencanaan antara lain Detail Engineering Design, data survey geoteknik, data properties tanah timbunan

Pengumpulan Data

Data yang diperlukan antara lain

- Parameter tanah dasar yang diperlukan antara lain berat isi (γ), sudut geser dalam (ϕ), dan kohesi (c). Parameter tanah didapatkan dari data perencanaan melalui tes laboratorium
- Data Properties tanah timbunan
- Data sekunder yang digunakan untuk penelitian didapatkan dari data tanah dan data Detail Engineering Design dan *Shop Drawing* Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B

Kriteria Desain

- Dalam penelitian ini, tinggi timbunan jalan ditentukan ketebalan tertentu sesuai desain DED, karena elevasi finish grade perkerasan jalan yang harus dibangun sudah ditentukan. Tebal lapisan perkerasan aspal yang akan dibangun juga sudah ditentukan, yaitu ada lapisan AC-WC tebal 4 cm, AC-BC tebal 6 cm, AC Base 15 cm, Lapis Pondasi Agregat kelas A 15 cm, Lapis Pondasi kelas B 15 cm, dan Timbunan Pilihan 30 cm. Dalam penelitian ini, akan digunakan 3 alternatif perkuatan tanah lunak yaitu *Substitusi*, PVD dan Preloading, dan Mini Pile.

Analisa Perhitungan Settlement

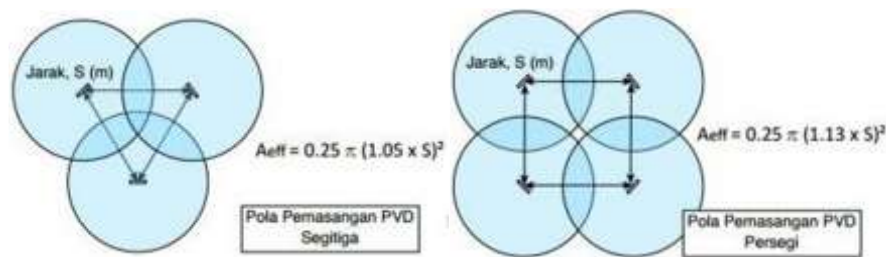
Dalam tahap ini dilakukan perhitungan *settlement* untuk kondisi timbunan tanpa perkuatan sesuai dengan desain RTA menggunakan parameter tanah berdasarkan data N-SPT dan hasil uji Laboratorium

Alternatif dengan substitusi

Penentuan besar dan lama waktu *settlement* pada masing-masing ketebalan *substitusi* 1m, 2m, dan 3m akan dilakukan terlebih dahulu. Beban timbunan yang digunakan sesuai dengan desain rencana lalu dilanjutkan perhitungan stabilitas.

Alternatif dengan PVD

Tahapan analisa percepatan pemampatan dengan menggunakan PVD dilakukan dengan menggunakan pola segitiga dan pola segiempat. Hal ini dapat dilihat melalui Gambar 3.2 dibawah. Jarak antar titik PVD dibuat beberapa jenis agar dapat diperoleh konfigurasi pemasangan PVD yang paling optimum.



Gambar 1. Variasi Penampang PVD

Sumber: Dokumentasi Peneliti, 2025

Alternatif Dengan Minipile

Penggunaan minipile dibawah timbunan dimaksudkan untuk mengantisipasi daya dukung yang rendah dan juga untuk mengurangi pemampatan yang terjadi karena beban timbunan akan ditahan oleh minipile. Perhitungan penurunan pada minipile tetap akan dihitung apabila pemasangan Panjang minipile masih berada pada tanah yang compressible (NSPT < 10). Penggunaan Minipile beton berdasarkan data desain RTA dengan tinggi timbunan 6 m sampai 7 meter menggunakan tipe *square* ukuran 25 cm x 25 cm dengan menggunakan variasi kedalaman 6 m, 8 m, dan 12 m.

Analisa Perhitungan Stabilitas

Perhitungan stabilitas terhadap 3 kondisi di atas. Apabila stabilitasnya tidak memenuhi, maka perlu dilakukan perkuatan tanah timbunan dengan penggunaan geotextile. Langkah tersebut diulangi hingga menghasilkan syarat keterimaan yang sesuai ($FK > 1.5$). Apabila hasil pengujian tersebut sudah memenuhi syarat keterimaan

Analisa Pro dan Kontra Pemilihan Alternatif Perkuatan Tanah Lunak

Akan dilakukan analisa Pro dan Kontra (Pro-cons) pada setiap alternatif pemilihan desain perkuatan tanah lunak ditinjau dari aspek stabilitas, biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan workability. Untuk scoring seperti berikut:

- 5 = Sangat baik
- 4 = Baik
- 3 = Sedang
- 2 = Kurang
- 1 = Buruk

Sedangkan pembobotan untuk setiap kriteria adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Bobot untuk Setiap Kriteria Analisa Pro-Kontra

Kriteria	Bobot
Stabilitas	0,4
Biaya Pelaksanaan	0,3

Waktu Pelaksanaan	0,2
Workability	0,1
Total	1,00

Sumber: Data Peneliti, 2025

Output Dari Hasil Penelitian

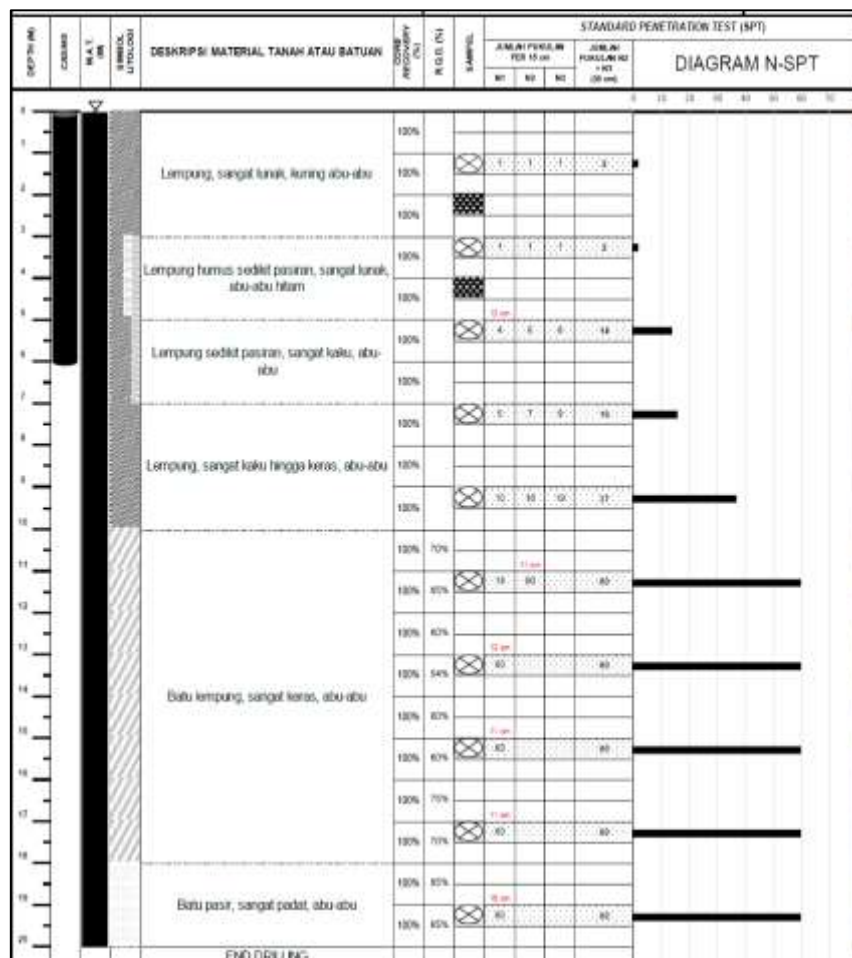
Output dari penelitian ini antara lain :

1. Alternatif perbaikan tanah dasar pada Lokasi penelitian yang paling tepat terhadap beban rencana
2. Perbandingan dan penilaian masa pelaksanaan konstruksi, perbandingan biaya dan *workability* masing masing alternatif perkuatan tanah lunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Parameter Tanah

Data tanah yang digunakan adalah hasil penyelidikan tanah menggunakan Borlog TB 21 yang berada di STA 3+575 pada trase Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B. Data tanah ini digunakan karena berada di titik yang paling dekat dengan titik lokasi analisa yaitu STA 3+525 sd STA 3+650 Hasil penyelidikan tanah menggunakan Borlog TB 21 dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 2. Data Boring dan SPT TB 21 Sta 3+600

Sumber: Data Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko Seksi 5B, 2024

Dari data Borlog TB 21 diketahui jenis, karakter dan nilai N-SPT tanah. Untuk mempermudah tahapan analisa lapisan tanah kemudian disederhanakan sesuai jenis dan karakter tanah seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakter Tanah Dasar

No	Kedalaman (m)	H (m)	Jenis Tanah	Consistency	N-SPT Rata-Rata	No	Kedalaman (m)
1	0	-	4	4	Lempung	Very Soft	3
2	4	-	7	3	Lempung	Medium	13
3	7	-	20	13	Lempung Batu	Very Stiff	54

Sumber: Data Borlog TB 21 Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko Seksi 5B, 2024

Koreksi Nilai N-SPT

Dari nilai N-SPT data borlog akan dikoreksi menggunakan langkah langkah seperti pada Subbab 2.5. Pada tahap awal dalam perhitungan koreksi nilai N-SPT dilakukan koreksi terhadap koreksi muka air tanah (N1) dan koreksi terhadap tegangan *overburden* (N2) (Bazaara, 1967) contoh perhitungan 1 lapisan tanah untuk mencari nilai N1 dan N2 dapat dilihat pada Tabel 4.2. Pada tahap akhir perhitungan dilakukan penentuan dengan kondisi nilai N2 sebagai N-SPT koreksi jika $N2 < 2N1$ dan bilai N1 sebagai N-SPT koreksi jika $N2 > 2N1$ Sehingga dengan cara yang sama nilai N-SPT untuk setiap lapisan tanah.

Nilai N-SPT koreksi dibandingkan dengan N-SPT awal memiliki nilai yang lebih tinggi. Sehingga kedalaman tanah kompresibel sesuai dengan kriteria $N-SPT < 10$ adalah pada kedalaman 4 m. Pada kedalaman ini memiliki lapisan Lempung dengan konsistensi lunak. Dibawah lapisan kompresibel terdapat lapisan lempung berpasir dengan konsistensi medium hingga kaku.

Analisa Parameter Tanah

N-SPT yang telah dikoreksi digunakan untuk menentukan parameter fisik dan teknis tanah dengan cara korelasi. Dalam tahapan perhitungan korelasi parameter tanah dicari nilai γ_{sat} dengan korelasi N-SPT terhadap γ_{sat} dengan memakai teori J.E. Bowless, 1984. Untuk mencari angka pori (e) dan koefisien konsolidasi (Cv) menggunakan teori Biarez and Favre, 1976 dengan korelasi γ_{sat} dengan angka pori maupun koefisien konsolidasi (Cv). Untuk nilai *Compression Index* (Cc) menggunakan persamaan 0,37 kali dari nilai angka pori (e) dan pada tahap terakhir untuk mencari nilai *swelling index* (Cs) menggunakan persamaan 1/5 dari nilai *Compression Index* (Cc). Dari tahapan analisa diatas hasil korelasi parameter tanah di Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B STA 3+525 sampai dengan STA 3+650 ditampilkan dalam Tabel 3

Tabel 3. Parameter Tanah

H (m)	Jenis	Konsistensi	N-SPT Koreksi	γ_{sat} ton/m ³	e	Cc	Cs	Cv	—
0-4	Lempung	Very Soft	6,00	16,09	1,77	0,66	0,13	1,47	—
4-7	Lempung	Medium	18,00	16,96	1,50	0,56	0,11	1,91	—
7-20	Lempung Batu	Very Stiff	54,00	19,51	0,72	0,27	0,05	3,18	—

Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Analisis Pemampatan Desain Eksisting

Analisis waktu pemampatan tanah dasar dilakukan untuk mengevaluasi apakah pemampatan tanah pada perencanaan eksisting mencapai U90 dalam waktu Sembilan bulan sesuai dengan masa konstruksi pekerjaan tanah. Evaluasi ini diperlukan mengingat Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B STA 3+525 sampai dengan STA 3+650 direncanakan tanpa menggunakan metode alternatif perkuatan tanah dasar, sehingga dapat menyebabkan keterlambatan pekerjaan jika derajat konsolidasi 90% (U90) tidak tercapai dalam kurun waktu 9 bulan. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan perhitungan waktu konsolidasi 90% menggunakan persamaan dibawah ini :

$$t = \frac{T_v H_{dr}^2}{C_v}$$

Dimana :

t = Waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat konsolidasi tertentu (detik)

T_v = Faktor waktu untuk derajat konsolidasi tertentu

C_v = Koefisien Konsolidasi

H_{dr} = Panjang lintasan drainase (m)

Nilai T_v dapat ditentukan dengan persamaan berikut

Untuk $U < 60\%$:

$$T_v = \left(\frac{\pi}{4}\right) \left(\frac{U\%}{100}\right)^2$$

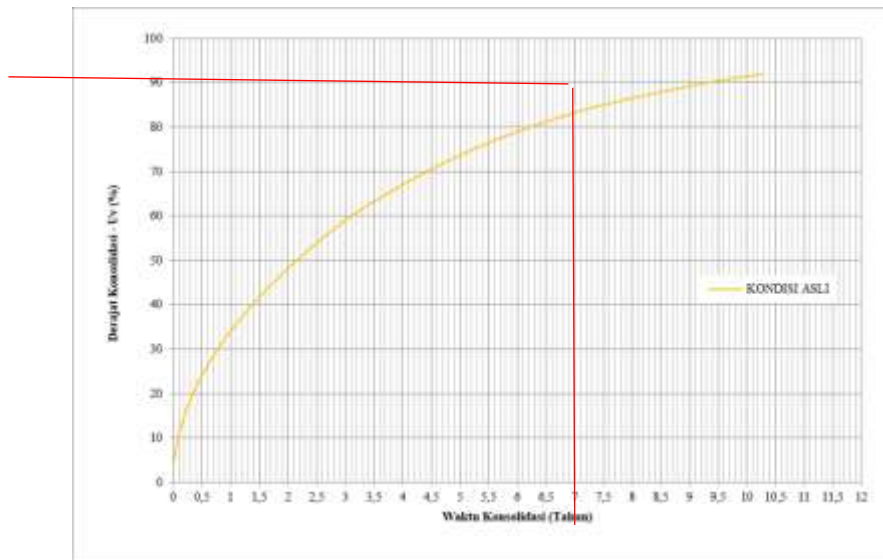
Untuk $U \geq 60\%$:

$$T_v = 1.781 - 0.933 \log(100 - U\%)$$

Dimana :

U = Derajat Konsolidasi (%)

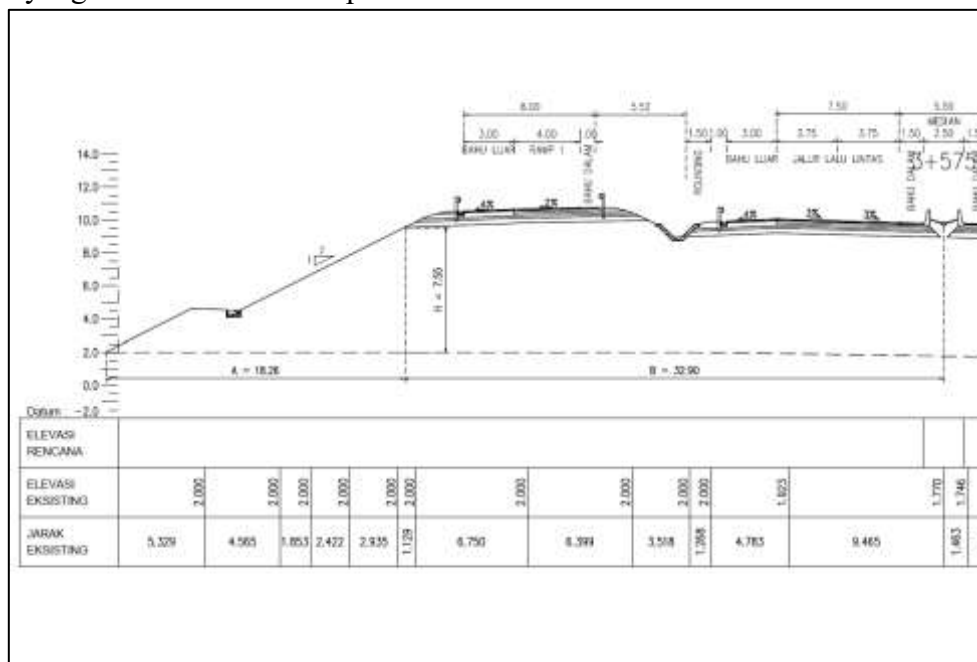
Berdasarkan persamaan diatas dilakukan perhitungan pertiap derajat konsolidasi. hubungan antara derajat konsolidasi terhadap waktu di Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B STA 3+525 sampai dengan STA 3+650. Kurva tersebut menunjukkan bahwa derajat konsolidasi 90% (U90) tercapai selama 9,28 tahun pada kondisi lapisan tanah alami dengan kedalaman lapisan tanah compressible $H_{dr} = 4$ m. Dengan demikian, diketahui bahwa penggunaan perencanaan eksisting akan menyebabkan tidak terselesaikannya pemampatan konsolidasi selama Sembilan bulan sesuai dengan masa pelaksanaan pekerjaan. Oleh sebab itu, diperlukan penyempurnaan perencanaan eksisting untuk mempercepat pemampatan konsolidasi.



Gambar 3. Hubungan Derajat Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi pada Desain Eksisting
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Perhitungan Tinggi Awal Timbunan

Analisa ulang pekerjaan timbunan diperlukan untuk memastikan bahwa beban awal timbunan (Hinitial) yang diberikan menyebabkan tanah dasar memampat dan berhenti pada tinggi akhir timbunan (Hakhir) Tabel 4.7. Gambar 4.3 menampilkan tipikal geometri timbunan pada pekerjaan Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B STA 3+525 sampai dengan STA 3+650. Timbunan direncanakan dengan tinggi akhir (Hakhir) sebesar 7,56 meter. Kemiringan sisi tepi timbunan adalah 1:2. Parameter tanah timbunan yang direncanakan ditampilkan dalam Tabel 4.6.



Gambar 4. Tipikal Geometri Timbunan Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B STA 3+525

Sumber: Data Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko Seksi 5B, 2024

Tabel 4. Parameter Tanah Timbunan

No	Parameter	Nilai	Satuan
1	Berat Volume Jenuh	2,00	gr/cm ³
2	Liquid Limit	30,47	%
3	Plastic Limit	18,43	%
4	Liquidity Indeks	12,04	%
5	Kadar Air Optimum	19,15	%
6	Specific Gravity	2,58	gr/cm ³
7	Void Ratio	0,57	

Sumber: Data Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko Seksi 5B, 2024

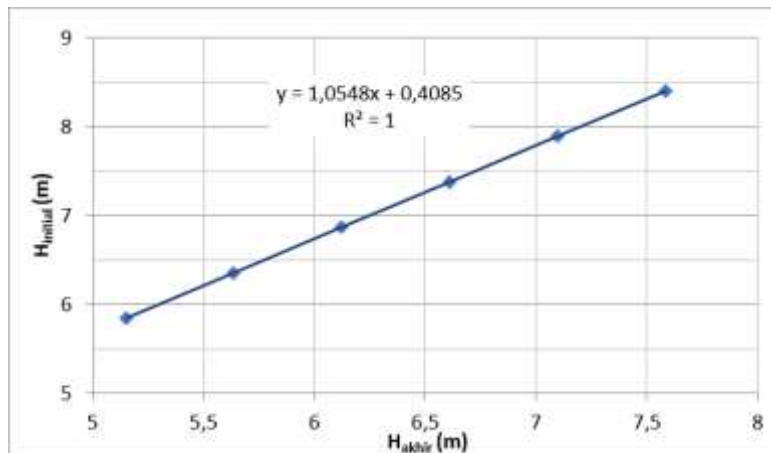
Analisis Hinisial dimulai dengan menentukan beberapa variasi beban akhir timbunan (qakhir). Tinggi akhir timbunan (Hakhir) ditentukan dengan mencari hubungan antara tinggi awal timbunan (Hinisial) terhadap besar pemampatan konsolidasi yang terjadi (Sc). Analisis tersebut dimulai dengan menentukan beban akhir timbunan (qakhir). Agar diperoleh prediksi pemampatan yang teliti, perhitungan pemampatan ditentukan setiap ketebalan lapisan tanah dasar 1 meter. Analisis ini mengasumsikan bahwa tanah dasar mengalami beban prakonsolidasi akibat fluktuasi muka air tanah (hfluk) setinggi 0,7 meter. Rekapitulasi hasil perhitungan Sc, Hinisial, dan Hakhir pada variasi qakhir yang ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan Sc, Hinisial, dan Hakhir

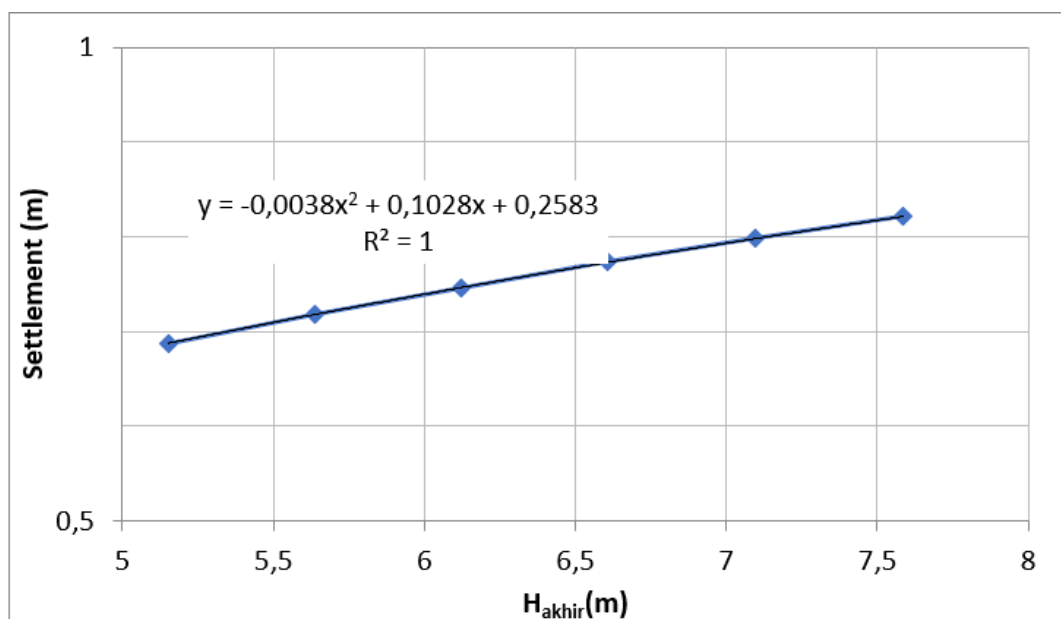
qi (t/m ²)	Hi	Sc,i (m)	Hinitial (m)	Hakhir (m)
11,00	5,50	0,688	5,84	5,15
12,00	6,00	0,718	6,36	5,64
13,00	6,50	0,746	6,87	6,12
14,00	7,00	0,773	7,38	6,61
15,00	7,50	0,798	7,89	7,10
16,00	7,99	0,821	8,41	7,58

Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Data hasil perhitungan pada Tabel 5 kemudian digunakan untuk membuat kurva hubungan Hinitial vs Hakhir (Gambar 5) dan kurva hubungan Sc vs Hakhir (Gambar 4.6). Dengan menggunakan persamaan trendline kurva Gambar 4.5, nilai Hinisial yang diperlukan agar diperoleh Hakhir sebesar 7,56 meter adalah sebesar 8,38 meter. Besar pemampatan (Sc) untuk mencapai Hakhir sebesar 7,56 meter ditentukan menggunakan persamaan trendline kurva Gambar 4.6, yaitu sebesar 0,82 meter.



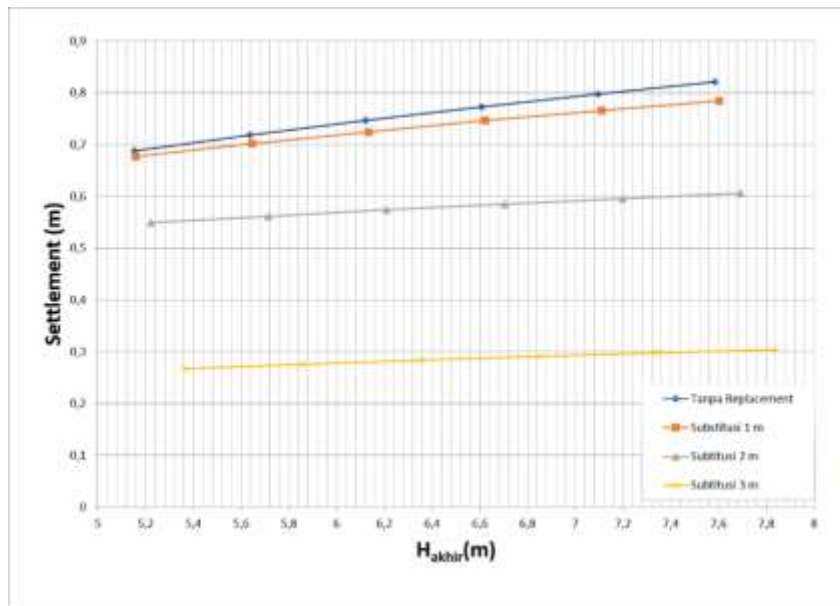
Gambar 5. Hinitial Timbunan awal konstruksi vs Hakhir Timbunan Final Konstruksi
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025



Gambar 6. Hubungan Settlement Tanah Dasar vs Hakhir Timbunan
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Analisis Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Metode Substitusi

Metode perbaikan tanah soil substitusi dianalisis pada kondisi ketebalan substitusi 1 m, 2 m, dan 3 m. Gambar 7 menampilkan kurva hubungan antara pemampatan terhadap tinggi akhir timbunan (Hakhir). Kurva tersebut menyimpulkan bahwa besar pemampatan lapisan kompresibel (tanah asli) akan cenderung mengecil seiring dengan penambahan ketebalan soil substitusi. Pemampatan yang terjadi jika dilakukan soil substitusi setebal 3 m untuk memperoleh Hakhir timbunan 7,56 m adalah sebesar 0,3 meter, sementara pemampatan yang terjadi pada kondisi tanpa substitusi adalah sebesar 0,82 m (Tabel 4.8). Penurunan pemampatan sebesar 63 % antara kondisi tanpa substitusi dengan substitusi 3 m menunjukkan bahwa metode soil substitusi efektif dalam menurunkan besar pemampatan lapisan kompresibel.



Gambar 7. Kurva Hubungan Antara Hakhir Timbunan dengan Setteltment Tanah Dasar
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Tabel 6. Nilai Setteltment dan Hinitial pada Setiap Alternatif Substitusi

No	Metode Pekerjaan	H Initial (m)	Sc (m)	Waktu Konsolidasi (Bulan)
1	Kondisi Desain Eksisting	8,38	0,82	111,36
2	Substitusi 1 m	8,35	0,79	62,03
3	Substitusi 2 m	8,16	0,60	27,03
4	Substitusi 3 m	7,86	0,30	6,36

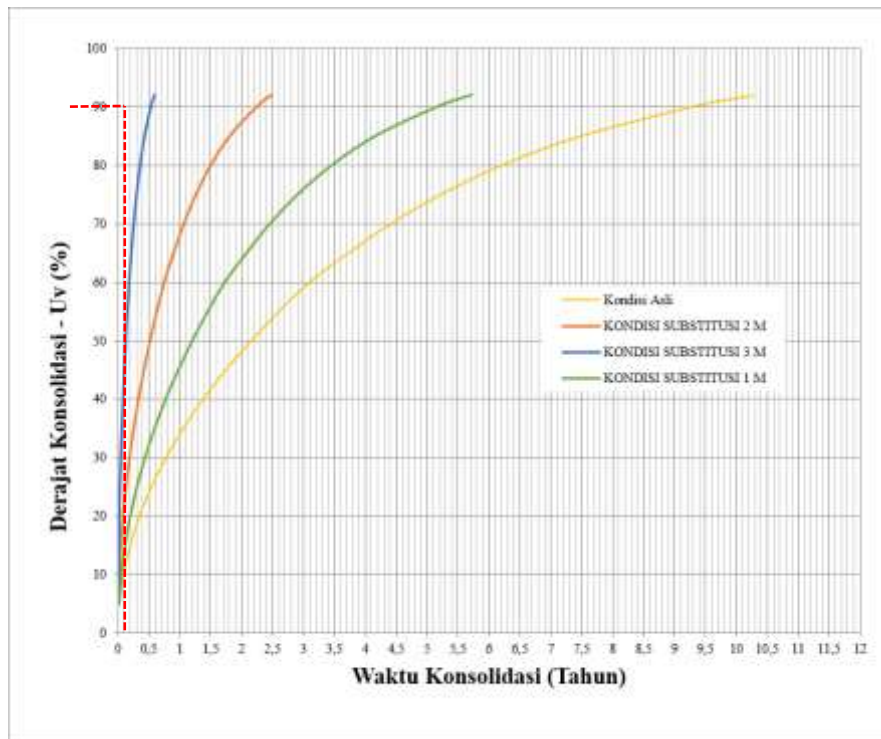
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Gambar 8 menampilkan hubungan antara derajat konsolidasi terhadap waktu pada berbagai ketebalan alaternatif metode substitusi. Pada pembahasan sebelumnya telah diketahui bahwa masa konstruksi jalan direncanakan selama 9 bulan, oleh sebab itu derajat konsolidasi selama masa konstruksi harus mencapai U90 dalam kurun waktu tersebut. Berdasarkan Gambar 4.8 dan Tabel 7 diketahui bahwa nilai derajat konsolidasi selama 9 bulan sesuai masa konstruksi pekerjaan tanah dapat mencapai 90% dengan menggunakan metode substitusi sedalam 3 meter. Oleh sebab itu, metode soil substitusi kedalaman 3 meter dapat disarankan untuk digunakan sebagai metode perbaikan tanah pada penelitian ini dengan menghasilkan waktu konsolidasi mencapai 90% dengan waktu 6,36 Bulan.

Tabel 7. Perhitungan Waktu Konsolidasi Pada Masing-Masing Substitusi

Kondisi	H _{dr lap}	C _v Gab (m ² /thn)	U (%)	Faktor Waktu (Tv)	t (tahun)
Kondisi Desain Awal	4	1,46	90	0,85	9,28
Kondisi Substitusi 1m	4	1,48	90	0,85	5,17
Kondisi Substitusi 2m	4	1,51	90	0,85	2,25
Kondisi Substitusi 3m	4	1,60	90	0,85	0,53

Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

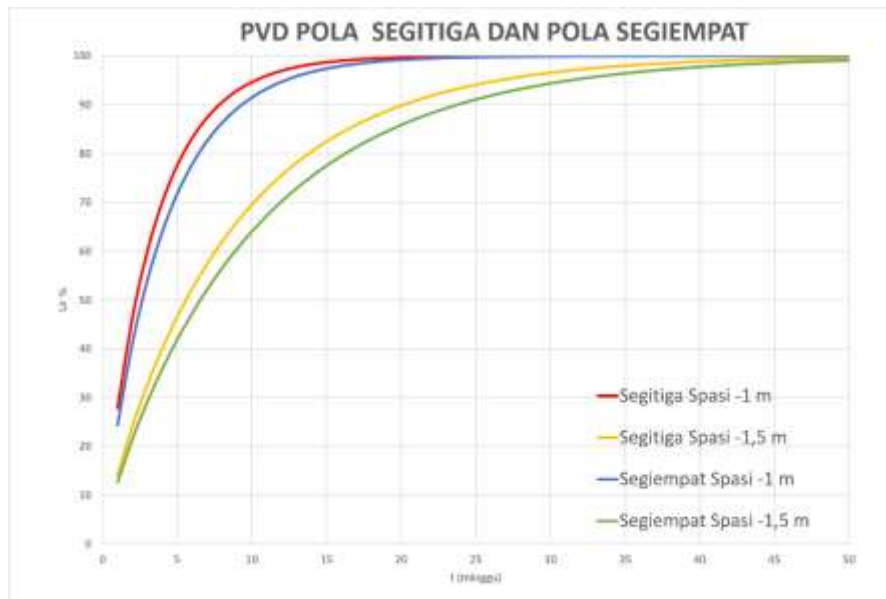


Gambar 8. Kurva Waktu Konsolidasi dengan Derajat Konsolidasi antar Alternatif Substitusi
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Analisis Perbaikan Tanah Dasar Menggunakan Metode PVD

Prinsip metode soil preloading dengan PVD adalah dengan melakukan pemasangan PVD pada tanah dasar sedalam lapisan tanah lunak yang mempunyai kemampuan yang tinggi (compressible soil) dan kemudian dilakukan pembebanan dengan timbunan tanah (preload). Tujuan dari pembebanan ini yaitu mengeluarkan air pori dari dalam tanah yang disalurkan melalui PVD atau disebut sebagai proses konsolidasi yang ditunjukkan oleh adanya penurunan tanah dan diikuti meningkatnya kuat geser tanah. Durasi pembebanan dilakukan sampai konsolidasi pada tanah dasar mencapai 90%.

Percepatan pemampatan tersebut dilakukan agar derajat konsolidasi 90% tercapai dalam kurun waktu maksimal 6 bulan (24 minggu). Gambar 4.9 menampilkan hasil analisis derajat konsolidasi total (U_r) terhadap waktu jika digunakan PVD dengan pola segiempat dan pola segitiga. Hasil analisis pola segitiga menunjukkan bahwa derajat konsolidasi U_{90} dapat dicapai selama kurun waktu kurang dari 6 bulan (24 Minggu). Jika menggunakan jarak antar PVD spasi sebesar 1 m menghasilkan U_{90} pada waktu 8 minggu dan PVD spasi sebesar 1,5 m menghasilkan U_{90} pada waktu 21 minggu. Pada pola segiempat hasil Analisa tidak sebaik dibandingkan dengan pola segitiga, hal ini ditunjukkan pada hasil perhitungan derajat konsolidasi U_{90} dapat dicapai selama kurun waktu kurang dari 6 bulan (24 Minggu). Jika menggunakan jarak antar PVD spasi sebesar 1 m menghasilkan U_{90} pada waktu 10 minggu dan PVD spasi sebesar 1,5 m menghasilkan U_{90} pada waktu 24 minggu. PVD ditanam hingga mencapai tanah lu, yaitu sedalam tanah compressible 4 m.



Gambar 9. Kurva Hubungan Waktu dan Ur PVD Pola Segitiga dan Segiempat
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

Analisis Pemampatan dan Stabilitas Menggunakan Metode Plaxis 2D

Metode Perhitungan Secara Numerik dapat dilakukan dengan Plaxis 2D. Untuk perhitungan menggunakan plaxis akan digunakan nilai parameter tanah yang sama seperti pada Tabel 4.3. Untuk Parameter penting lain untuk input pada Plaxis seperti nilai Modulus Young E pada pemodelan Mohr Colomb tanah timbunan seperti di bawah

- Untuk tanah lapisan material timbunan

$$E = 0,5 \times (N + 15)$$

$$E = 0,5 \times (10 + 15)$$

$$E = 10,000 \text{ kPa}$$

Untuk fase perhitungan pada Plaxis 2D akan disimulasikan sesuai dengan tahapan pekerjaan berdasarkan fase initial, fase perhitungan konsolidasi, dan Safety Factor timbunan. Parameter pada Plaxis 2D dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 8. Parameter Tanah pada Plaxis 2D

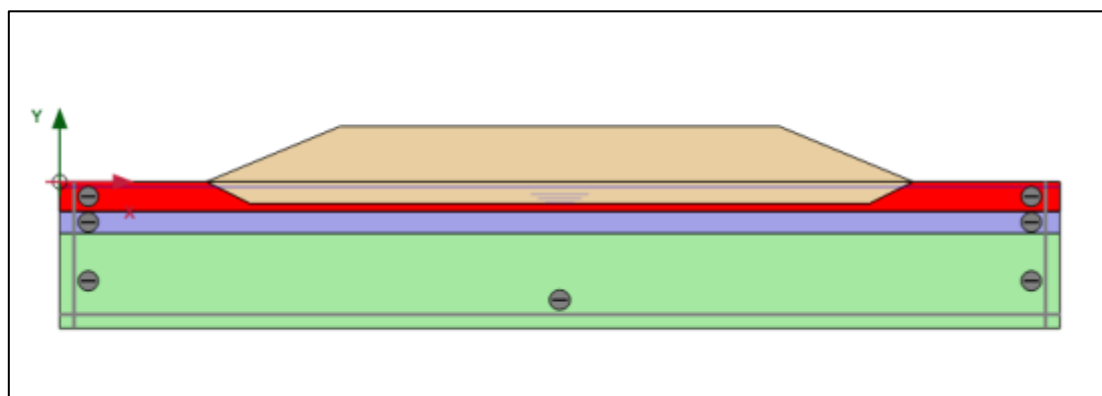
Parameter Tanah	Tanah Timbunan	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3
Soils	Loamy Sand	Clay	Clay	Sandy Clay
Soil Model	Hardening Soil	Soft Soil	Hardening Soil	Hardening Soil
Drainage type	Drained	Undrained A	Undrained A	Undrained A
NSPT Koreksi	-	5,13	17,31	53,08
γ_{sat} (Koreksi)	20,00	16,09	16,96	19,51
e	0,57	1,77	1,50	0,72
E	10000,00	-	-	-
E_{50}	6666.67	-	-	-
C_c	-	0,66	0,56	0,27
C_s	-	0,13	0,11	0,05
v (nu)	0,2	0,10	0,2	0,2
c'	20	10	10	20

ϕ	20	10	20	20
--------	----	----	----	----

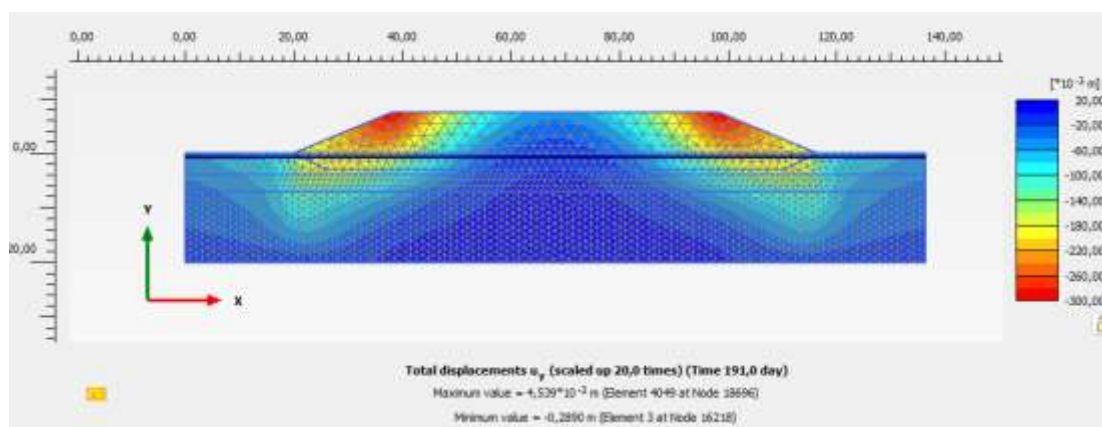
Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2025

1 Analisis Pemampatan dan Stabilitas Substitusi dengan Plaxis 2D

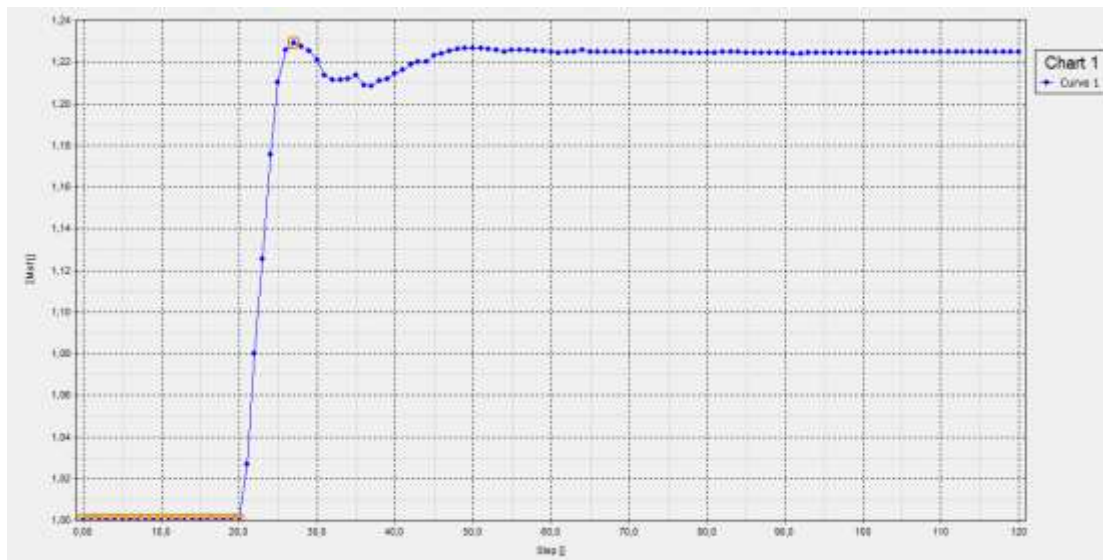
Pada pembahasan subbab 4.3 yang menyatakan bahwa Metode perbaikan tanah dengan substitusi kedalaman 3 meter memiliki kriteria desain yang baik dan dapat dilaksanakan dibandingkan dengan metode substitusi lainnya. Berdasarkan Gambar 4.8 Metode soil substitusi kedalaman 3 meter dapat disarankan untuk digunakan sebagai metode perbaikan tanah pada penelitian ini dengan menghasilkan waktu konsolidasi mencapai 90% dengan waktu kurang dari masa pelaksanaan konstruksi tanah. Berdasarkan hal tersebut, metode substitusi kedalaman 3 meter dilanjutkan dalam perhitungan pemampatan dan stabilitas dalam pemodelan Plaxis 2D. Hasil pemodelan geometri substitusi 3 meter dapat dilihat pada Gambar 10, hasil perhitungan pemampatan substitusi 3 meter dapat dilihat pada Gambar 11, sedangkan hasil perhitungan stabilitas timbunan pada metode substitusi 3 meter dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 10. Geometri Analisis Metode Substitusi Kedalaman 3 m
Sumber: Hasil Analisis Plaxis 2D, 2025



Gambar 11. Analisis Deformasi Metode Substitusi Kedalaman 3 m
Sumber: Hasil Analisis Plaxis 2D, 2025



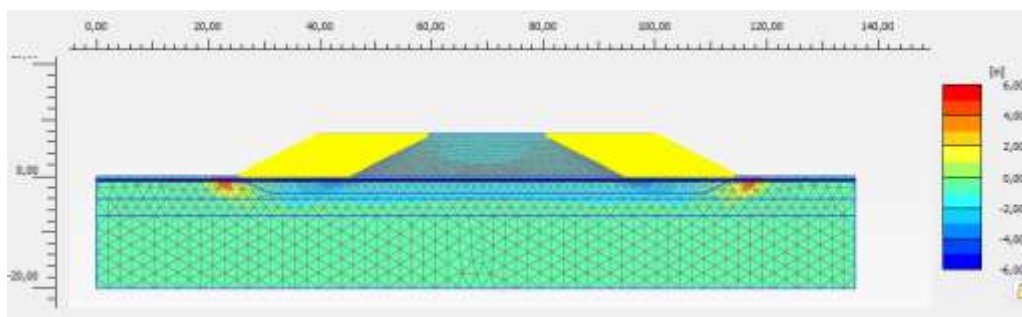
Gambar 12. Analisis Safety Factor Metode Substitusi Kedalaman 3 m

Sumber: Hasil Analisis Plaxis 2D, 2025

Dari analisa numerik pada Gambar 4.12 menggunakan Plaxis didapatkan hasil S_c 0,289 m yang mendekati dengan perhitungan metode Terzaghi. Oleh karena itu parameter yang digunakan pada model sudah mendekati kondisi lapangan. Namun pada Gambar 4.13 menunjukkan Safety factor dengan nilai F_k 1,23 hal ini tidak masuk kedalam kriteria persyaratan stabilitas timbunan dengan nilai F_k 1,5. Berdasarkan hal ini metode substitusi 3 m dilanjutkan dengan perkuatan timbunan dengan memakai geotextile.

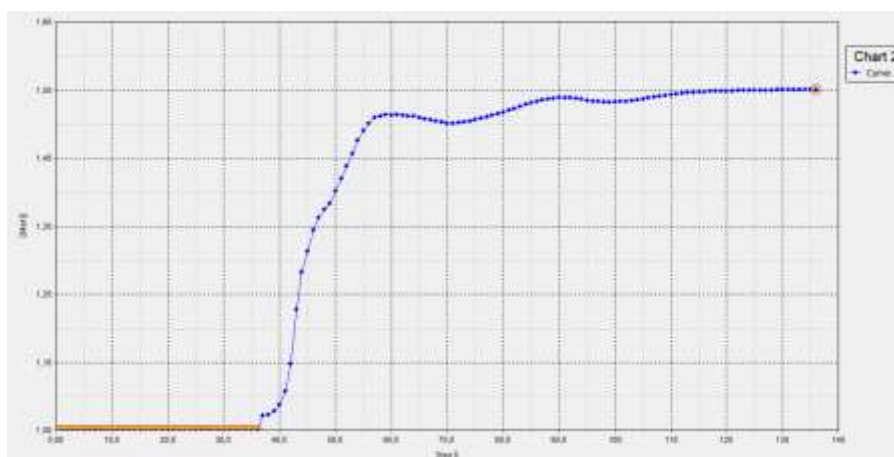
Analisis Perkuatan Stabilitas Timbunan Metode Substitusi 3 m dengan Geotextile

Berdasarkan subbab 4.5.1 yang menyatakan bahwa metode substitusi tanah dengan kedalaman 3 meter tidak memenuhi syarat stabilitas timbunan, maka diperlukan penambahan perkuatan dengan geotextile untuk alternatif tersebut. Bahan Geotextile digunakan geotextile dengan kuat Tarik 200 Kn/m sesuai dengan spek geotextile yang digunakan pada proyek ini. Perencanaan kebutuhan geotextile secara lengkap dapat dilihat di Lampiran 3. Hasil 3927nalisa menunjukkan bahwa setelah adanya perkuatan geotextile, F_k minimum yang dihasilkan sudah memenuhi persyaratan F_k ijin 1,5. Hasil 3927nalisa stabilitas menggunakan Plaxis 2D dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 13.



Gambar 13. Analisa Stabilitas Timbunan Metode Substitusi 3 m dengan Perkuatan Geotekstile

Sumber: Hasil Analisis Plaxis 2D, 2025



Gambar 14. Safety Factor Metode Substitusi 3 m dengan Perkuatan Geotekstile

Sumber: Hasil Analisis Plaxis 2D, 2025

Analisis Pemampatan dan Stabilitas PVD dengan Plaxis 2D

Metode Perhitungan Secara Numerik minipile dapat dilakukan dengan Plaxis 2D. Untuk perhitungan menggunakan plaxis akan digunakan nilai parameter tanah yang sama seperti pada Tabel 4.3. Pada Plaxis 2D diperlukan konversi untuk mengubah model axysimmetyc ke model Plain Strain. Perhitungan ini akan merubah parameter permeabilitas horizontal dengan mempertimbangkan dimensi dan konfigurasi PVD menggunakan persamaan metode Indraratna dan Redana. Parameter yang telah dihitung dapat dilihat pada Tabel 4.11.

$$\frac{k_{hp}}{kh} = \frac{0,67 \frac{(n-1)^2}{n^2}}{[\ln(n) - 0,75]}$$

$$n = \frac{de}{dw}$$

Dimana ;

khp = Koefisien permeabilitas horizontal pada kondisi plane strain

kh = Horizontal permeability

de = Equivalent diameter PVD

dw = Diameter PVD

Tabel 4.11 Perhitungan Permeabilitas Horizontal Kondisi Plain Strain

Uraian	Spek		Spasi	de (m)	dw (m)	Fn	n	s	Kh	Khp
	a (m)	b (m)								
PVD Segitiga	0,100	0,005	1	1,05	0,07	2,00	15,71	2	0,0475	0,01393
			1,5	1,58	0,07	2,41	23,56	2	0,0475	0,01212
PVD Segiempat	0,100	0,005	1	1,13	0,07	2,08	16,90	2	0,0475	0,01357
			1,5	1,70	0,07	2,48	25,36	2	0,0475	0,01183

Berdasarkan parameter diatas, metode PVD dilanjutkan dalam perhitungan pemampatan dan stabilitas dalam pemodelan Plaxis 2D. untuk PVD pola segitiga dengan spasi 1 m, untuk PVD pola segitiga dengan spasi 1,5 m, untuk PVD pola segiempat dengan spasi 1 m, dan untuk PVD pola segiempat dengan spasi 1,5 m.

Dari analisa numerik menggunakan Plaxis didapatkan hasil waktu penurunan kurang dari 6 bulan dan dapat disimpulkan metode PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi, Dari analisa numerik menggunakan Plaxis didapatkan hasil S_c 0,92 – 0,93 m hal ini mendekati dengan perhitungan metode manual. Analisa menunjukkan Safety factor tidak masuk kedalam kriteria persyaratan stabilitas timbunan dengan nilai F_k 1,5. Berdasarkan hal ini metode PVD dilanjutkan dengan perkuatan timbunan dengan memakai geotextile.

Analisis Stabilitas Timbunan pada PVD dengan Geotextile

Berdasarkan subbab 4.5.2 yang menyatakan bahwa metode PVD dengan pola segitiga maupun segiempat tidak memenuhi syarat stabilitas timbunan, maka diperlukan penambahan perkuatan dengan geotextile untuk alternatif tersebut. Bahan Geotextile digunakan geotextile dengan kuat Tarik 200 Kn/m sesuai dengan spek geotextile yang digunakan pada proyek ini. Perencanaan kebutuhan geotextile secara lengkap dapat dilihat di Lampiran 3. Hasil analisa menunjukkan bahwa setelah adanya perkuatan geotextile, F_k minimum yang dihasilkan sudah memenuhi persyaratan F_k ijin 1,5.

Analisis Pemampatan dan Stabilitas Minipile dengan Plaxis 2D

Metode Perhitungan Secara Numerik minipile dapat dilakukan dengan Plaxis 2D. Untuk perhitungan menggunakan plaxis akan digunakan nilai parameter tanah yang sama seperti pada Tabel 4.3. Pada penelitian ini menggunakan material minipile ukuran 25 cm x 25 cm, jarak spasi maximum 3 kali diameter tiang dengan mutu beton f_c' 41,5 dan, variable kedalaman 6 m, 8 m, dan 12 m. Faktor adhesi dihitung dengan menggunakan kurva Tomlinson, 1957 hubungan antara Undrained Shear Strength dengan Faktor adhesi.

Dari analisa numerik pada gambar diatas menggunakan Plaxis didapatkan dari hasil, Hal ini menunjukkan penggunaan minipile dapat menurunkan pemampatan dan meningkatkan Safety factor dengan nilai $F_k > 1,5$ untuk masing masing kedalaman. Berdasarkan hal ini metode minipile dengan variasi kedalaman 6 m, 8 m, dan 12 m tidak dilanjutkan dengan perkuatan timbunan dengan memakai geotextile.

Analisis Pro dan Kontra Alternatif Perkuatan Tanah Lunak

Pada proses akhir pemilihan alternatif desain perbaikan tanah lunak pada Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B akan dilakukan analisa Pro dan Kontra pada setiap alternatif pemilihan desain perkuatan tanah lunak ditinjau dari aspek stabilitas, biaya pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan workability.

Analisis Pro dan Kontra Alternatif Aspek Stabilitas

Penilaian diberikan pada hasil analisa melalui Plaxis 2D yang telah dihitung pada bagian subbab sebelumnya. Pada hasil analisa, metode alternatif penggunaan minipile merupakan metode yang paling baik diantara metode lainnya. Penentuan *scoring* ditentukan $F_k < 1$ mendapatkan skor 1, F_k 1 - 1,4 mendapatkan skor 2, F_k 1,5 – 1,6 mendapatkan skor 3, F_k 1,7 – 1,8 mendapatkan skor 4, dan $F_k > 1,8$ mendapatkan skor 5.

Analisis Pro dan Kontra Alternatif Aspek Biaya Pelaksanaan

Pada penelitian ini harga dasar pelaksanaan mengacu pada harga dasar kontrak Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B. Acuan harga ini bertujuan untuk dapat menilai biaya pelaksanaan sesuai dengan area kerja proyek. Volume masing-masing pekerjaan dihitung hanya pada divisi pekerjaan tanah diluar dari pekerjaan perkerasan mulai dari pekerjaan pembersihan, galian tanah, timbunan tanah, volume masing-masing alternatif, penyiapan badan jalan dan perkuatan timbunan dengan geotextile. Rincian volume dan harga satuan pekerjaan dapat dilihat pada lampiran 3. Pada hasil analisa aspek biaya pelaksanaan, metode alternatif penggunaan PVD merupakan metode yang paling

baik diantara metode lainnya dikarenakan tidak memerlukan galian tanah yang besar dan volume pekerjaan PVD yang tidak terlalu besar. Penentuan *scoring* ditentukan biaya pelaksanaan 20 milyar – 25 milyar mendapatkan skor 5, biaya pelaksanaan 25 milyar – 30 milyar mendapatkan skor 4, biaya pelaksanaan 30 milyar – 35 milyar mendapatkan skor 3, biaya pelaksanaan 35 milyar – 40 milyar mendapatkan skor 2, dan biaya pelaksanaan > 40 milyar mendapatkan skor 1.

Analisis Pro dan Kontra Alternatif Aspek Waktu Pelaksanaan

Perhitungan waktu pelaksanaan bergantung pada kapasitas produksi harian pada masing masing pekerjaan. Kapasitas produksi yang dipakai pada analisa ini berdasarkan analisa Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN segmen Jembatan Pulau Balang – Simpang Riko seksi 5B dalam pembuatan master schedule. Pada hasil analisa aspek waktu pelaksanaan, metode substitusi kedalaman 3m merupakan metode yang paling baik diantara metode lainnya dikarenakan tidak memerlukan metode pekerjaan yang terlalu sulit, tidak memakai bahan material yang terlalu banyak, dan control pelaksanaan pekerjaan cenderung mudah. Penentuan *scoring* ditentukan biaya pelaksanaan 20 milyar – 25 milyar mendapatkan skor 5, biaya pelaksanaan 25 milyar – 30 milyar mendapatkan skor 4, biaya pelaksanaan 30 milyar – 35 milyar mendapatkan skor 3, biaya pelaksanaan 35 milyar – 40 milyar mendapatkan skor 2, biaya pelaksanaan > 40 milyar mendapatkan skor 1.

Analisis Pro dan Kontra Alternatif Aspek Workability

Pada dasarnya, workability digunakan sebagai parameter tambahan untuk menentukan pemilihan suatu alternatif metode pekerjaan. Pada pemilihan ini digunakan metode matriks yang berdasarkan pada kualifikasi kontraktor, dampak lingkungan, teknologi yang digunakan, dan metode kerja. Pada matriks aspek workability ini dapat melihat kelebihan dan kekurangan suatu alternatif metode perkuatan tanah lunak. Penentuan *scoring* ditentukan dengan 4 kriteria yaitu kualifikasi kontraktor, dampak lingkungan, teknologi yang dipakai, dan kesesuaian metode kerja di lapangan. Metode alternatif yang sesuai 4 kriteria akan mendapatkan skor 5, metode alternatif yang sesuai dengan 3 kriteria mendapatkan skor 4, metode alternatif yang sesuai dengan 2 kriteria mendapatkan skor 3, metode alternatif yang sesuai dengan 1 kriteria mendapatkan skor 2, metode alternatif yang sesuai tidak masuk pada kriteria mendapatkan skor 1.

Penilaian Seluruh Aspek Pro dan Kontra Alternatif Pekerjaan

Disimpulkan bahwa pekerjaan dengan metode substitusi kedalaman 3 meter memiliki nilai yang sangat baik. Keunggulan dari metode ini memiliki biaya pelaksanaan yang cenderung lebih murah, waktu pelaksanaan yang cepat, dan kesesuaian workability di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi terhadap berbagai metode alternatif perkuatan tanah lunak pada Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang– Simpang Riko Seksi 5B Sta 3+525–3+650, diketahui bahwa desain awal sesuai *Reference Technical Assessment* (RTA) tanpa penanganan tanah lunak belum memenuhi kriteria desain, khususnya terkait persyaratan penurunan (*settlement*). Hasil analisis menunjukkan bahwa derajat konsolidasi sebesar 90% (U90) baru dapat dicapai dalam waktu sekitar 9,28 tahun pada kondisi lapisan tanah alami dengan ketebalan tanah kompresibel sebesar 4 m. Temuan ini menunjukkan bahwa apabila menggunakan desain eksisting tanpa perbaikan tanah, proses pemampatan konsolidasi tidak akan selesai dalam jangka waktu pelaksanaan proyek yang

direncanakan selama 9 bulan, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan kinerja konstruksi dan pelayanan jalan pada masa operasional.

Evaluasi terhadap alternatif metode perbaikan tanah menunjukkan bahwa masing-masing metode memberikan tingkat penurunan yang berbeda. Metode substitusi tanah sedalam 3 m menghasilkan penurunan sebesar 0,30 m, sedangkan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan pola segitiga berjarak 1 m menghasilkan penurunan sebesar 0,82 m. Sementara itu, metode minipile dengan kedalaman 12 m memberikan hasil terbaik dengan nilai penurunan paling kecil, yaitu sebesar 0,20 m. Berdasarkan hasil tersebut, metode minipile 12 m terbukti paling efektif dalam meminimalkan besarnya penurunan tanah dibandingkan metode alternatif lainnya. Dari aspek stabilitas lereng dan timbunan, hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh metode alternatif telah memenuhi persyaratan faktor keamanan (*factor of safety*) minimum sesuai ketentuan Bina Marga, yaitu lebih besar dari 1,5. Metode substitusi tanah sedalam 3 m menghasilkan faktor keamanan sebesar 1,50, metode PVD pola segitiga 1 m sebesar 1,60, sedangkan metode minipile 12 m memberikan nilai faktor keamanan tertinggi, yaitu sebesar 2,09 (Marga, 2019). Hasil ini menunjukkan bahwa metode minipile memiliki tingkat stabilitas tanah yang paling baik dan memberikan margin keamanan yang lebih tinggi dibandingkan metode alternatif lainnya.

Meskipun metode minipile memberikan kinerja terbaik dari aspek penurunan dan stabilitas, hasil analisis pro dan kontra yang mempertimbangkan aspek stabilitas, biaya konstruksi, waktu pelaksanaan, dan *workability* menunjukkan bahwa metode substitusi tanah sedalam 3 m dengan perkuatan geotekstil merupakan alternatif yang paling efisien dan efektif secara keseluruhan. Metode ini memperoleh skor total tertinggi sebesar 3,8 dari skala 5,0, lebih tinggi dibandingkan metode PVD pola segitiga 1 m yang memperoleh skor 3,7 dan metode minipile 12 m dengan skor 2,6. Dengan mempertimbangkan keseimbangan antara aspek teknis dan aspek pelaksanaan, metode substitusi tanah sedalam 3 m yang dikombinasikan dengan perkuatan geotekstil direkomendasikan sebagai solusi yang paling optimal untuk penanganan permasalahan penurunan dan stabilitas tanah pada Proyek Jalan Bebas Hambatan IKN Segmen Jembatan Pulau Balang–Simpang Riko Seksi 5B Sta 3+525–3+650.

REFERENSI

- Abdelbaset, A., & Arafa, I. T. (2023). Improvement of consolidation settlement beneath square footings using uncased and encased stone columns. *Structures*, 57, 105609. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105609>
- Aslam, Z., & Gofar, N. (2022a). Pengaruh Perbaikan Tanah Dasar, Lapisan Geotekstil dan Cerucuk Terhadap Kestabilan Lereng Timbunan di Atas Tanah Lunak. *TEKNIKA: Jurnal Teknik*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.35449/teknika.v9i1.206>
- Aslam, Z., & Gofar, N. (2022b). 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>
- Aziz, I. U., & Wahyudi, H. P. T. K. (2025). Alternatif Metode dan Perbaikan Tanah Lunak pada Jalan Tol Akses Patimban Sta 28+305 – Sta 28+450. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 10, 8570–8586.
- Chaiyaput, S., Jaroonrat, P., Liangsunthonsit, A., Mase, L. Z., Kotkhangphlu, P., & Ayawanna, J. (2023). Feasibility study of using natural para rubber for reinforced embankment. *Case Studies in Construction Materials*, 19, e02516. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02516>
- Daryanto, D., & Mochtar, N. E. (2025). Penentuan Ketebalan Substitusi Parsial dari Lapisan Tanah Dasar yang Paling Efisien Didasarkan pada Penanganannya Terhadap

- Pemampatan dan Stabilitas Jalan yang Direncanakan. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 10, 7760–7778.
- Garo, T., Tesfaye, M., & Karuppannan, S. (2024). Slope stability modeling using limit equilibrium and finite element methods: A case study of the Adama City, Northern Main Ethiopian Rift. *Quaternary Science Advances*, 15, 100228. <https://doi.org/10.1016/j.qsa.2024.100228>
- Lastiasih, Y., & Tantri K.S., P. (2015). Slope Stability Evaluation Using Limit Equilibrium Method (LEM) And Finite Element Method (FEM) For Indonesia Soft Soil. *The 3rd Bali International Seminar On Science and Technology (BISSTECH)*.
- M, B., & Gofar, N. (2024). Pengaruh Penggantian Tanah dan Lapisan Geotekstil Terhadap Deformasi dan Stabilitas Lereng Timbunan Diatas Tanah Lunak. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 7, 915–924.
- Marga, K. P. U. dan P. R. D. J. B. (2005). *Penanganan Tanah Ekspansif Untuk Konstruksi Jalan*.
- Marga, K. P. U. dan P. R. D. J. B. (2009). *Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah Dengan Geosintetik*.
- Marga, K. P. U. dan P. R. D. J. B. (2019). *Kumpulan Korelasi Parameter Geoteknik dan Fondasi*.
- Pradipta, R., & W, M. K. (2023). Penggunaan Kombinasi Substitusi, Shear Key Dan Timbunan Sebagai Salah Satu Alternatif Perbaikan Tanah Ekspansif Untuk Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil*, 1, 49–54.
- Saragih, M. S. M., & Wulandari, T. E. (2023). Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode Substitusi dan Preloading Menggunakan Plaxis Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru - Padang. *LPPM Universitas Wiraraja*, 2, 365–376.
- Sari, F., & Istiatun, I. (2022). Analisis Stabilitas Timbunan Dengan Perkuatan Geotekstile dan Cerucuk. *CMJ*, 4.
- Tanyıldızı, M., Uz, V. E., & Gökalp, İ. (2023). Utilization of waste materials in the stabilization of expansive pavement subgrade: An extensive review. *Construction and Building Materials*, 398, 132435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132435>
- Wu, J., Xuan, Y., Deng, Y., Li, X., Zha, F., & Zhou, A. (2021). Combined vacuum and surcharge preloading method to improve lianyungang soft marine clay for embankment widening project: A case. *Geotextiles and Geomembranes*, 49(2), 452–465. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2020.10.013>