

ANALISIS METODE REPLACEMENT TANAH UNTUK PERKUATAN STRUKTUR JALAN (STUDI KASUS JALAN AKSES BENDUNGAN JRAGUNG SESI R2B STA 6+800 s/d 6+900)

Ahmad Hidayawan^{1*}, Dhonna Meylida², Bagus Wahyu Adhi³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Batik Surakarta

Jl. Agus Salim No.10, Sondakan, Surakarta, Indonesia 57147

* Email: hidayawan11@gmail.com

Diajukan: 05/11/2025 Direvisi: 09/07/2026 Diterima: 11/07/2026

Abstrak

Pembangunan jalan akses pada area Bendungan Jragung menghadapi permasalahan stabilitas lereng akibat keberadaan tanah residual yang bersifat slaking dan dispersive sehingga berpotensi menimbulkan longsoran pada struktur badan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas metode replacement tanah sebagai upaya perkuatan struktur jalan pada STA 6+800 s/d 6+900. Penelitian dilakukan melalui investigasi geologi teknik, pengujian parameter tanah, serta pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak PLAXIS V20 untuk mengevaluasi perubahan faktor keamanan dan settlement pada kondisi eksisting maupun setelah perbaikan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan metode replacement secara menyeluruh hingga lapisan batuan keras pada tanah residual dispersif di area jalan akses bendungan, yang dianalisis berdasarkan pengaruh waktu konsolidasi terhadap stabilitas lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa kondisi eksisting memiliki faktor keamanan sebesar 1,168 sehingga dinyatakan tidak aman karena berada di bawah standar minimum 1,5. Setelah dilakukan replacement menggunakan material pilihan, faktor keamanan meningkat menjadi 1,627 pada konsolidasi 1 tahun dan 1,636 pada konsolidasi 3 tahun dengan settlement masing-masing sebesar 0,010 m dan 0,014 m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode replacement efektif meningkatkan stabilitas struktur jalan dan dapat dijadikan alternatif penanganan praktis pada ruas jalan dengan kondisi tanah residual yang memiliki potensi longsor tinggi.

Kata Kunci: Replacement Tanah, Stabilitas Lereng, Tanah Residual, PLAXIS, Jalan Akses Bendungan.

Abstract

The construction of the access road in the Jragung Dam area faces slope stability issues due to the presence of residual soil with slaking and dispersive characteristics, which poses a potential risk of landslides on the road structure. This study aims to analyze the effectiveness of the soil replacement method as a reinforcement effort for the road structure from STA 6+800 to 6+900. The research was conducted through engineering geological investigations, soil parameter testing, and numerical modeling using PLAXIS V20 software to evaluate changes in the safety factor and settlement under both existing and post-improvement conditions. The novelty of this research lies in the comprehensive application of the replacement method down to the hard rock layer on dispersive residual soil in the dam's access road area, which is analyzed based on the effect of consolidation time on slope stability. The analysis results indicate that the existing condition has a safety factor of 1.168, which is considered unsafe as it falls below the minimum standard of 1.5. Following the replacement using selected materials, the safety factor increased to 1.627 at 1-year consolidation and 1.636 at 3-year consolidation, with settlements of 0.010 m and 0.014 m, respectively. The findings demonstrate that the replacement method effectively enhances the stability of the road structure and can serve as a practical handling alternative for road sections built on residual soils with a high landslide potential.

Keywords: Soil Replacement, Slope Stability, Residual Soil, PLAXIS, Dam Access Road

1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan salah satu aspek penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan mobilitas masyarakat. Kualitas dan ketahanan jalan sangat mempengaruhi efisiensi transportasi serta keselamatan pengguna jalan (Kamaruddin et al., 2021). Namun, seiring dengan meningkatnya volume dan beban kendaraan, struktur jalan menghadapi tantangan yang signifikan dalam mempertahankan keandalannya. Beban kendaraan yang berlebihan dapat menyebabkan deformasi, retakan, dan kerusakan lainnya pada lapisan perkerasan jalan (Hidiyati et al., 2023).

Dalam rangka mendukung pembangunan bendungan Jragung diperlukan adanya jalan akses masuk, akses jalan kerja ataupun jalan relokasi penghubung lokasi atau wilayah. Pembangunan jalan akses penghubung yang akan menghubungkan Dusun Sapen, Dusun Borangan dan Dusun Kedungglatik dengan pusat Pemerintahan Desa, karena pada saat masa konstruksi dan pasca konstruksi ruas jalan yang ada akan terputus dan berdampak pada terisolirnya akses jalan menuju dusun tersebut, sehingga berdampak terhadap aktivitas mobilisasi dalam mengangkut hasil pertanian warga.

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa metode *replacement* tanah mampu meningkatkan stabilitas konstruksi pada tanah lunak maupun tanah residual. Horpibulsuk (2011) menjelaskan bahwa metode *replacement* memberikan peningkatan daya dukung yang signifikan pada lapisan tanah lunak dengan ketebalan relatif dangkal. Gu et al. (2021) menyatakan bahwa melalui analisis numerik menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman *replacement*, semakin tinggi nilai faktor keamanan lereng dan semakin kecil deformasi yang terjadi.

Penelitian Verma et al. (2021) juga membuktikan bahwa penggunaan material timbunan pilihan pada proses *replacement* mampu mengurangi penurunan tanah (*settlement*) serta meningkatkan kekakuan struktur pondasi. Selain itu, Brinkgreve et al. (2018) menjelaskan bahwa analisis elemen hingga menggunakan PLAXIS mampu menggambarkan perubahan tegangan, deformasi, dan faktor keamanan secara lebih

representatif dibandingkan pendekatan analisis keseimbangan batas konvensional.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada tanah lunak, tanah lempung jenuh, atau tanah aluvial. Penelitian mengenai penerapan metode *replacement* pada tanah residual hasil pelapukan batu lempung yang memiliki karakteristik *slaking* dan dispersif masih relatif terbatas. Selain itu, kajian mengenai pengaruh waktu konsolidasi terhadap perubahan faktor keamanan dan penurunan tanah setelah dilakukan *replacement* juga belum banyak dilaporkan, khususnya pada konstruksi jalan akses bendungan.

Selain itu, Evans et al. (2021) menjelaskan bahwa *replacement* merupakan metode ekonomis dan efektif untuk mengganti lapisan tanah dengan daya dukung rendah menggunakan material granular berkualitas baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi teknologi dan metode baru dalam perawatan dan perbaikan jalan yang lebih efektif dan ekonomis. Dengan demikian, upaya ini tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kualitas infrastruktur jalan, tetapi juga mendukung terciptanya sistem transportasi yang lebih berkelanjutan dan aman bagi semua pengguna jalan.

2. METODOLOGI

2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian aplikatif atau terapan yang bertujuan untuk menemukan solusi praktis terhadap masalah spesifik, dalam hal ini perbaikan pondasi bendungan dari segi biaya dan waktu. Secara deskriptif Penelitian ini akan menggambarkan kondisi eksisting pondasi bendungan, metode perbaikan yang tersedia, serta komponen biaya dan waktu yang terlibat dalam setiap metode. Penelitian deskriptif membantu memberikan gambaran menyeluruh tentang situasi yang sedang diteliti oleh Ardiansyah et al. (2023)

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak pada jalan akses bendungan Jragung yang menghubungkan antara Kabupaten Semarang, Kabupaten Demak dan Kabupaten Grobogan (Gambar 1). Jalan tersebut merupakan jalur transportasi masyarakat untuk akses mobilisasi.

Pada lokasi jalan akses tersebut terdapat beberapa titik rawan longsor yang harus segera ditangani dan segera dikerjakan perbaikannya, sehingga jalan tersebut untuk bisa difungsikan dan diminimalisir kerusakannya.



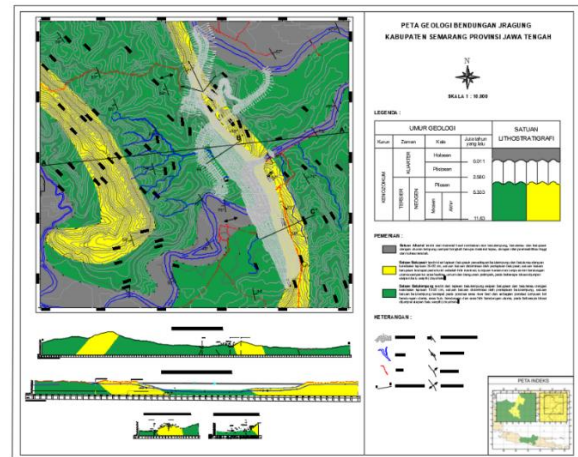
Gambar 1. Denah Lokasi Penelitian
(Google Earth)

2.3 Kondisi Struktur Geologi Jalan Akses

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada lokasi ruas Jalan Akses Bendungan Jragung STA 6+800 s/d 6+900 yang mengalami potensi longsor akibat keberadaan tanah residual hasil pelapukan batu lempung. Pengambilan data lapangan dilakukan melalui investigasi geoteknik berupa pengeboran tanah (*borehole*) pada titik BH R2B-06 dan BH R2B-07 untuk mengetahui kondisi stratigrafi tanah, kedalaman lapisan keras, serta karakteristik tanah dasar.

Metode pengambilan sampel dilakukan menggunakan dua jenis sampel, yaitu *disturbed sample* dan *undisturbed sample*. *Disturbed sample* digunakan untuk pengujian sifat fisik tanah, sedangkan *undisturbed sample* digunakan untuk pengujian parameter mekanik tanah (Waheed & Asmael, 2023). Pengambilan sampel dilakukan pada lapisan residual soil dan lapisan batuan lapuk dengan interval kedalaman tertentu sesuai perubahan litologi hasil pengeboran (Hanif & Silviana, 2023).

Secara umum kondisi geologi jalan akses lithologi (Gambar 2) yang dijumpai pada rencana jalan akses berupa satuan batu lempung terdiri dari lapisan batulempung karbonatan sisipan batu pasir tufan dan batu lanau karbonatan dengan ketebalan lapisan 10-90 cm.



Gambar 2. Peta Geologi Lokasi Penelitian
(Laporan Geologi)

Lithologi yang dijumpai pada rencana jalan akses.

- a. Batu lempung karbonatan:
Warna abu-abu, kekerasan sedang (tergores pisau), lapuk sedang – sangat tinggi, ukuran butir lempung, terpilah baik, kemas tertutup, struktur masif banyak terkekarkan dan dijumpai *clay shale*.
- b. Batu pasir tufan:
Warna coklat, abu keputihan, keras, kompak, ukuran butir pasir kasar-halus, terpilah sedang, struktur masif, lapuk sedang-tinggi, komposisi kuarsa, *feldspar*, *hornblende* semen silika ukuran butir lempung-pasir kasar.
- c. *Residual soil*:
Merupakan hasil proses pelapukan dari lapisan batu lempung maupun batupasir berwarna coklat kekuningan, lunak, berukuran lempung- pasir halus, mudah mengalami perubahan sifat fisik akibat cuaca.

Batu lempung dengan kondisi seperti yang ada pada gambar di atas mempunyai sifat *slaking* dimana batu tersebut akan mudah retak atau rapuh apabila terpapar dengan udara dan akan menjadi lumpur apabila terkena air. Batu lempung akan berubah menjadi *residual soil* apabila mengalami intensitas pelapukan yang tinggi, lebih dikenal dengan tanah Exspansif (Joseph, 1996).

Residual soil yang berasal dari batulempung akan tetap mempunyai sifat fisik yang sama berupa *slaking*. Ruas jalan Bendungan Jragung yang dibangun sebagian besar berada pada *residual soil* hasil pelapukan batuan lempung sehingga mempunyai sifat

slaking (mudah retak dan rapuh apabila terlalu lama dibiarkan terbuka setelah digali (Surono, 2009).

Di samping itu tanah lempung juga bersifat *dispersive* yang dicirikan dengan kenampakan berupa parit erosi/gulli erosi. Ketika tanah liat dispersif terkena air, partikel-partikel tanah liat menjadi bermuatan negatif dan saling tolak menolak, menyebabkan tanah pecah dan tersuspensi di dalam air (Shirley, 1993).

Hal ini dapat menyebabkan erosi pada tanah dan dapat menimbulkan masalah serius pada proyek konstruksi, seperti ketidakstabilan pondasi, kegagalan lereng, dan erosi tanggul dan kerusakan pada pondasi jalan. Tanah lempung dispersif biasanya ditemukan di daerah kering dan semi kering, dimana tanahnya sering kali kering dan padat (Hardiyatmo, 2002). Hal ini sering dikaitkan dengan tanah yang memiliki konsentrasi ion natrium tinggi, yang dapat menyebabkan partikel tanah lebih mudah tersebar.

Dengan demikian potensi longsor pada ruas jalan akses ke Bendungan Jragung termasuk kategori tinggi. Untuk mengatasi potensi longsor yang tinggi diperlukan treatment atau perlakuan yang khusus untuk meminimalisir resiko terjadinya longsor.

2.4 Penurunan Tanah

Penurunan pada lapisan tanah dapat terjadi diakibatkan karena tanah dasar menerima beban dari konstruksi yang di atasnya maupun beban dari lapisan tanah yang ada di atasnya (Wang et al., 2020) seperti terlihat pada Gambar 3. Penurunan dapat terjadi akibat adanya perubahan struktur penyusutan tanah seperti keluarnya air dan/atau udara dari pori tanah yang menyebabkan butiran tanah yang mengalami deformasi maupun relokasi. penurunan pada tanah akibat beban dibedakan atas dua jenis, penurunan segera dan penurunan konsolidasi (Hidayawan et al., 2023). Berikut merupakan persamaan dari penurunan segera dan penurunan konsolidasi

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (1)$$

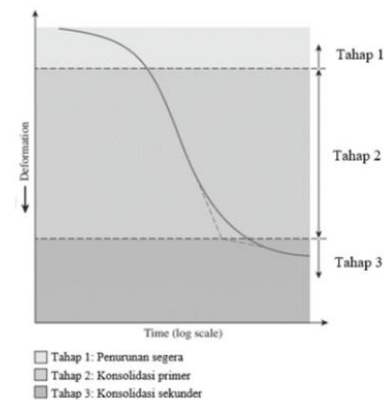
dengan :

S = penurunan total

S_i = penurunan segera

S_c = penurunan konsolidasi primer

S_s = penurunan konsolidasi sekunder



Gambar 3. Grafik Penurunan Tanah terhadap Waktu tiap Kenaikan Beban

2.5 Stabilitas Lereng

Stabilitas lereng merupakan kondisi keseimbangan antara gaya penggerak (*driving forces*) dan gaya penahan (*resisting forces*) yang bekerja pada suatu lereng. Kelongsoran terjadi ketika gaya penggerak melebihi gaya penahan sehingga massa tanah bergerak mengikuti bidang gelincir tertentu. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh karakteristik geologi, sifat mekanik tanah, geometri lereng, beban luar, serta kondisi hidrologi yang menyebabkan perubahan tekanan air pori.

Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng menjadi salah satu tahapan penting dalam perencanaan konstruksi geoteknik, khususnya pada pembangunan jalan, bendungan, dan timbunan yang berada di atas tanah dengan daya dukung rendah.

Stabilitas lereng merupakan kondisi keseimbangan antara gaya penahan dan gaya penggerak pada suatu lereng. Lereng dinyatakan stabil apabila gaya penahan lebih besar dibandingkan gaya penggerak yang bekerja pada bidang longsor. Faktor utama yang mempengaruhi stabilitas lereng meliputi:

- kohesi tanah (c),
- sudut geser dalam (ϕ),
- berat isi tanah (γ),
- tekanan air pori,
- geometri lereng,
- kondisi pembebanan.

Analisis stabilitas lereng dapat dilakukan menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) maupun *Finite Element Method* (FEM). Metode LEM menghitung keseimbangan gaya atau momen pada bidang longsor yang

diasumsikan, sedangkan FEM mampu menggambarkan distribusi tegangan, regangan, deformasi, dan perkembangan zona plastis secara lebih realistis.

Dalam perangkat lunak PLAXIS, evaluasi stabilitas lereng dilakukan menggunakan *Strength Reduction Method* (SRM) dengan cara mereduksi parameter kuat geser tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), hingga kondisi runtuh tercapai. Nilai faktor keamanan diperoleh dari besarnya faktor reduksi yang menyebabkan kegagalan lereng sehingga metode ini dinilai lebih representatif untuk menganalisis perilaku tanah nonlinier dibandingkan metode keseimbangan batas (Brinkgreve et al., 2021).

Parameter stabilitas lereng umumnya dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (*factor of safety*). Faktor keamanan merupakan perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak longsor. Lereng dinyatakan aman apabila nilai faktor keamanan (Tabel 1) memenuhi standar minimum yang dipersyaratkan. Secara umum persamaan faktor keamanan dapat dituliskan sebagai berikut:

$$FS = \frac{\sum R}{\sum D} \quad (2)$$

FS : Faktor keamanan

$\sum R$: Total gaya Penahan

$\sum D$: Total Gaya Penggerak

Tabel 1. Nilai Faktor Keamanan

Nilai Faktor Keamanan	Kejadian/Intensitas Longsor
FK < 1,07	Longsor terjadi sering (kelas labil)
FK 1,07 – 1,25	Longsor pernah terjadi (kelas kritis)
FK > 1,25	Longsor jarang terjadi (kelas stabil)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data *Soil* investigasi yang digunakan pada STA 6+800 – 6+900 dengan menggunakan data Bore R2B 06 dan R2B 07. Bore R2B 06 pada kedalaman (0.0 – 1.5 m) merupakan *residual soil* warna coklat, lunak, pelapukan sangat tinggi, ukuran butir lempung – pasir kasar, terpilah buruk, kohesi rendah. Pada kedalaman 2 m menunjukkan NSPT 9,6 pada kedalaman 4 m NSPT 17,28. Pada kedalaman 6 m menunjukkan NSPT 20,4 dan pada kedalaman 8-12 NSPT > 50 yang artinya sudah keras.

Titik R2B 07 terdiri dari lapisan *residual soil* dan batu lempung sisipan batu pasir. Pada

kedalaman (0.0 – 1.0 m) *residual soil* warna coklat, lunak, pelapukan tinggi. Kedalaman (1.0 - 5.0 m) batu lempung warna coklat, lunak, pelapukan sedang - tinggi, ukuran butir lempung – pasir kasar. Kedalaman (5.0 – 9.5 m) batu lempung, warna abu-abu, kekerasan sedang, ukuran butir lempung-pasir halus, kohesi baik. Pada kedalaman 2 m menunjukkan NSPT 14,4 pada kedalaman 4 m NSPT 18,24. Pada kedalaman 6 m menunjukkan NSPT 28,56 dan pada kedalaman 8-12 NSPT > 50 yang artinya sudah keras (Tabel 3).

Tabel 2. Litologi Batuan Secara Umum

Jenis Tanah	Sifat Tanah	Potensi Kerusakan yang Ditimbulkan
BMG-01 Residual soil Lokasi jalan akses Makam – Genangan.	Mempunyai sifat <i>slaking</i> dimana batu tersebut akan mudah retak atau rapuh apabila terpapar dengan udara dan akan menjadi lumpur apabila terkena air.	Ketika tanah liat dispersif terkena air, partikel-partikel tanah liat menjadi bermuatan negatif dan saling tolak menolak, menyebabkan tanah pecah

Tabel 3. Penampang Geologi Teknik

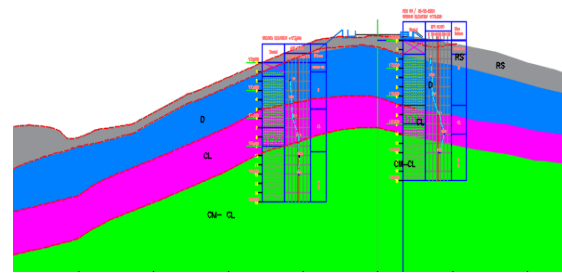
Jenis Tanah	Sifat Tanah	Potensi Kerusakan yang Ditimbulkan
lokasi longsor ruas jalan akses segmen Makam – Batas Genangan sisi kanan.	SOIL	N SPT: 7-20 Ø: 9.57° c: 0,08 kg/cm ² Sg: 2.64 gr/cm ³ Unit weight: 1.92 gr/cm ³
	D	N SPT: 20-40 Ø: 11.05° c: 0,01 kg/cm ² Sg: 2.681 gr/cm ³ Unit weight: 1.69 gr/cm ³

Jenis Tanah	Sifat Tanah	Potensi Kerusakan yang Ditimbulkan
	CL	N SPT: 40-50 Ø: 23.67° c: 0,17 kg/cm ² Sg: 2.666 gr/cm ³ Unit weight: 1.92 gr/cm ³

Berdasarkan hasil investigasi geologi teknik, lapisan tanah pada ruas Jalan Akses Bendungan Jragung didominasi oleh tanah residual hasil pelapukan batu lempung (*clay shale*) yang mengalami pelapukan tinggi hingga sangat tinggi (Tabel 2).

Material ini memiliki nilai NSPT yang relatif rendah pada lapisan permukaan dan meningkat secara bertahap seiring bertambahnya kedalaman hingga mencapai lapisan batuan keras (Gambar 4). Pola tersebut menunjukkan bahwa tingkat pelapukan sangat memengaruhi kekakuan dan kuat geser tanah. Semakin tinggi tingkat pelapukan, semakin rendah nilai kohesi efektif dan sudut geser dalam sehingga kemampuan tanah dalam menahan beban menjadi berkurang.

Karakteristik tersebut sejalan dengan penelitian (Wesley, 2010), yang menjelaskan bahwa sifat mekanik tanah residual dipengaruhi oleh proses pelapukan batuan induk sehingga menghasilkan variasi parameter geoteknik yang cukup besar pada setiap kedalaman. Selain itu, penelitian Rahardjo et al. (2014) menunjukkan bahwa infiltrasi air hujan pada tanah residual dapat meningkatkan tekanan air pori dan mempercepat penurunan kuat geser sehingga berpotensi menyebabkan kegagalan lereng. Kondisi tersebut sesuai dengan lokasi penelitian yang memperlihatkan indikasi tanah residual bersifat slaking dan dispersif, sehingga diperlukan metode perbaikan yang mampu meningkatkan stabilitas struktur jalan secara menyeluruh.

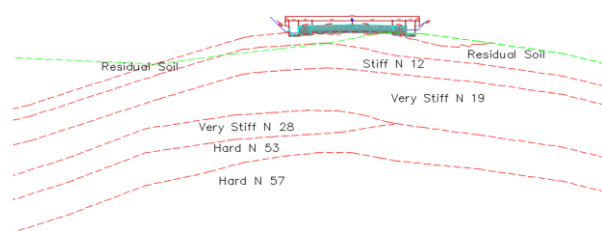


KLASIFIKASI	DESKRIPSI	SIFAT TEKNIS
RESIDUAL SOIL	Batuan yang telah mengalami pelapukan sempurna butiran telah terurai menjadi tanah. Warna kuning kecoklatan, lunak, plastisitas baik, sementasi dan kohesi sangat rendah, berukuran lempung-kecil, permeabilitas sangat tinggi, berupa material lepas.	N SPT: 3-8 Ø: 1.71° c: 0.02-0.18 kg/cm ² Sg: 2.68 gr/cm ³ Unit weight: 1.71 gr/cm ³
D	Batuan yang telah mengalami pelapukan tinggi-terutama namun masih tersisa tekstur batuan induk. Bagian sementasi yang sangat rendah, kohesi sangat rendah, berukuran lempung-kecil, permeabilitas tinggi, kekerasan relatif lunak.	N SPT: 25-50 Ø: 11.0° c: 0.02 kg/cm ² Sg: 2.68 gr/cm ³ Unit weight: 1.92 gr/cm ³
CL	Batuan dengan pelapukan sedang sampai tinggi, tekstur batuan induknya masih tersisa, butir mineral tidak terurai, bagian sementasi rendah, kohesi sedang-rendah, permeabilitas tinggi, kekerasan sedang- sampai lunak.	N SPT: 40-60 Ø: 23.67° c: 0.17 kg/cm ² Sg: 2.666 gr/cm ³ Unit weight: 1.92 gr/cm ³
CM-CL	Sedikit lapuk sampai lapuk sedang, terdiri dari batulumpung dan batupasir, permeabilitas menengah, lapuk di bidang kontak lapisan. Kelas dengan tingkat sementasi sedang, mengandung bagian sedikit lapuk sampai relatif lapuk, memiliki kekerasan yang menengah.	N SPT: 50-70 Ø: 24.72° c: 0.18 kg/cm ² Sg: 2.68 gr/cm ³ Unit weight: 1.96 gr/cm ³

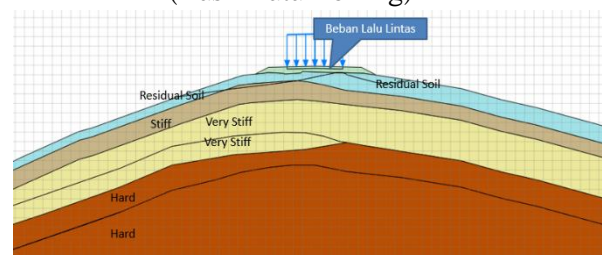
Sumber: Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)

Gambar 4. Penampang Geologi Teknik (Hasil Data Borring)

Berdasarkan hasil penyelidikan geologi didapatkan penggambaran penampang pondasi struktur jalan serta parameter analisis. Kemudian dilakukan pengelompokan jenis batuan tersebut sesuai dengan klasifikasi tingkat kekakuannya (Gambar 5 & Gambar 6).



Gambar 5. Klasifikasi Tingkat Kekakuan Tanah berdasarkan Penampang Geologi Teknik (Hasil Data Borring)



Gambar 6. Pembuatan Geometri Pemodelan Kondisi Existing (Hasil Data Borring)

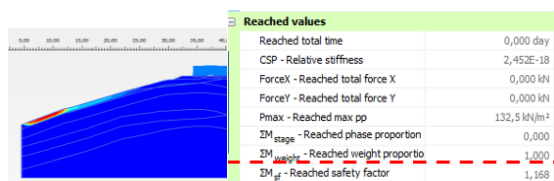
3.1 Kondisi *Excisting* (Tanpa Penanganan)

Gambar 7 menunjukkan hasil analisis numerik, bahwa lereng pada kondisi eksisting memiliki nilai faktor keamanan sebesar 1,168, lebih kecil dibandingkan nilai minimum 1,50 yang direkomendasikan untuk lereng

permanen. Nilai tersebut menunjukkan bahwa gaya penahan belum mampu mengimbangi gaya penggerak sehingga lereng berada pada kondisi yang berpotensi mengalami kelongsoran apabila menerima tambahan beban maupun pengaruh infiltrasi air.

Nilai faktor keamanan yang rendah terutama disebabkan oleh dominasi lapisan tanah residual hasil pelapukan batu lempung pada bagian atas lereng. Material tersebut mempunyai nilai kohesi dan sudut geser dalam yang relatif kecil akibat proses pelapukan, sehingga kuat geser tanah menjadi rendah. Selain itu, keberadaan material yang bersifat slaking menyebabkan penurunan kekakuan tanah ketika mengalami siklus basah dan kering, sedangkan sifat dispersif meningkatkan potensi erosi internal yang semakin mengurangi kestabilan lereng. Kombinasi kedua karakteristik tersebut menyebabkan distribusi tegangan tidak dapat dipikul secara optimal sehingga deformasi plastis berkembang pada kaki lereng.

Hasil penelitian ini konsisten dengan penelitian Griffiths & Fenton (2004) yang menyatakan bahwa penurunan parameter kuat geser tanah merupakan faktor dominan yang menyebabkan penurunan faktor keamanan pada analisis elemen hingga. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Dabou et al. (2021), yang menunjukkan bahwa variasi kohesi dan sudut geser dalam memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap stabilitas lereng dibandingkan perubahan berat isi tanah.



Gambar 7. Hasil Running *Software Plaxis* (Hasil Analisis)

3.2 Hasil Analisis Setelah *Replacement*

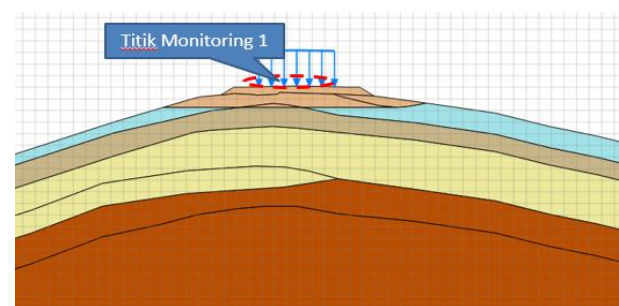
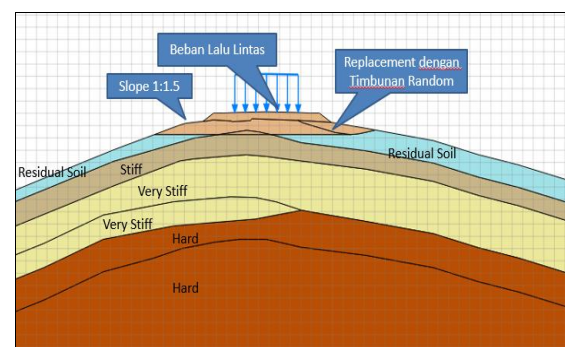
Setelah dilakukan *replacement* hingga mencapai lapisan batuan yang lebih kompeten, nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,627 pada kondisi konsolidasi satu tahun dan 1,636 pada konsolidasi tiga tahun. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggantian tanah residual dengan material pilihan mampu meningkatkan kekakuan

pondasi serta memperbesar tahanan geser pada bidang longsor.

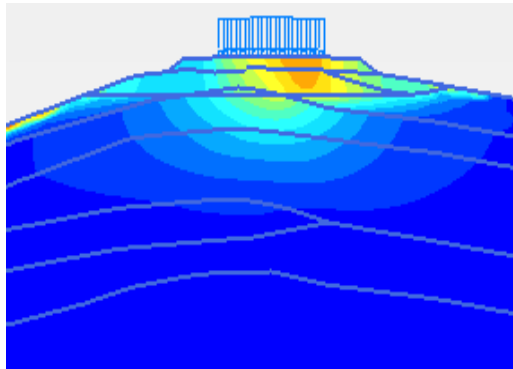
Meskipun peningkatan faktor keamanan antara kondisi konsolidasi satu tahun dan tiga tahun relatif kecil, yaitu sekitar 0,55%, kondisi tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar peningkatan stabilitas telah dicapai segera setelah proses *replacement* selesai dilakukan. Konsolidasi selanjutnya hanya memberikan tambahan peningkatan yang terbatas karena deformasi primer telah berkurang secara signifikan.

Hasil ini sejalan dengan El et al. (2014) yang menyatakan bahwa metode *replacement* bekerja dengan menghilangkan lapisan tanah yang memiliki kuat geser rendah dan menggantinya menggunakan material granular yang mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi sehingga distribusi tegangan menjadi lebih merata. Penelitian Indraratna (2012) juga menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan material timbunan secara langsung meningkatkan faktor keamanan sekaligus mengurangi deformasi pada timbunan jalan.

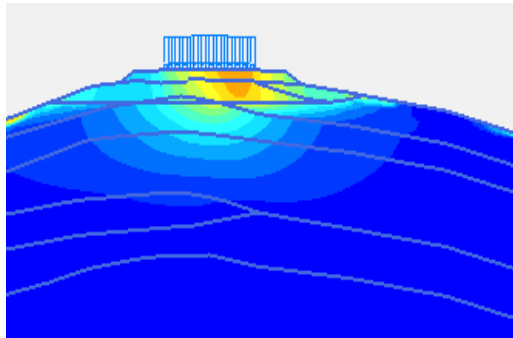
Berikut geometri pemodelan untuk jenis penanganan *replacement* tanah residual sesuai dengan Gambar 8 dan Gambar 9 di bawah ini.



Gambar 8. Geometri Pemodelan (Hasil Analisis)



Konsolidasi 3 Tahun 1,636 > 1,5 (Aman)



Konsolidasi 1 Tahun FS 1,627 > 1,5 (Aman)

Gambar 9. Hasil Pemodelan dengan *Software Plaxis V20* (Hasil Analisis)

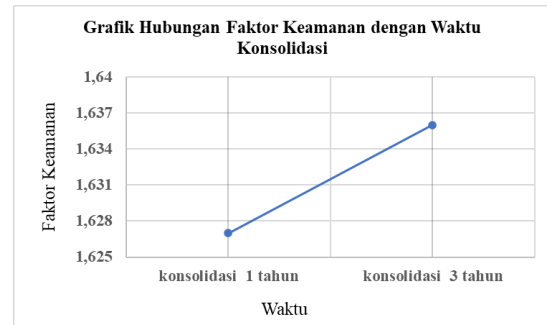
3.3 Hasil Analisis Setelah *Replacement*

Tabel 4 menunjukkan nilai *settlement* yang diperoleh sebesar 0,010 m pada konsolidasi satu tahun dan meningkat menjadi 0,014 m pada konsolidasi tiga tahun. Kenaikan *settlement* sebesar 4 mm menunjukkan bahwa deformasi tambahan setelah tahun pertama relatif kecil sehingga sebagian besar proses konsolidasi primer telah selesai. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa material *replacement* memiliki tingkat kekakuan yang cukup tinggi sehingga mampu membatasi deformasi jangka panjang.

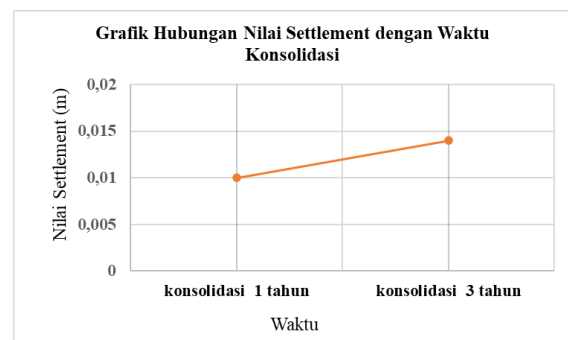
Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan bahwa dari sisi rekayasa, *settlement* yang relatif kecil menunjukkan bahwa metode *replacement* tidak hanya meningkatkan faktor keamanan lereng, tetapi juga memperbaiki kinerja struktur pondasi jalan terhadap beban lalu lintas. Hasil ini mendukung penelitian Duncan & Wright (2014) yang menjelaskan bahwa peningkatan kekakuan tanah dasar akan mengurangi deformasi vertikal sekaligus meningkatkan kestabilan struktur.

Tabel 4. Resume Perhitungan Faktor Keamanan dan Nilai *Settlement*

No.	Uraian	Faktor Keamanan	Nilai <i>Settlement</i>
1	Konsolidasi 1 Tahun	1,627	0,010
2	Konsolidasi 3 Tahun	1,636	0,014



Gambar 10. Grafik Hubungan Faktor Keamanan dengan Waktu Konsolidasi (Hasil Analisis)

Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai *Settlement* dengan Waktu Konsolidasi (Hasil Analisis)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pada ruas Jalan Akses Bendungan Jragung STA 6+800 s/d 6+900 dengan panjang penanganan ± 100 m, diketahui bahwa kondisi tanah residual pada struktur pondasi badan jalan memiliki karakteristik dispersif dan rentan mengalami longsor dalam jangka panjang. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan stabilitas lereng serta membahayakan keselamatan pengguna jalan apabila tidak dilakukan penanganan yang memadai.

Metode perbaikan yang diterapkan berupa *replacement* tanah residual dengan material timbunan pilihan terbukti mampu

meningkatkan stabilitas struktur jalan secara signifikan. Hasil analisis numerik menggunakan *software* PLAXIS V20 menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting nilai faktor keamanan sebesar 1,168 sehingga belum memenuhi kriteria aman.

Setelah dilakukan perbaikan menggunakan metode *replacement*, nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,627 pada kondisi konsolidasi 1 tahun dengan nilai *settlement* sebesar 0,010 m. Pada kondisi konsolidasi 3 tahun, nilai faktor keamanan meningkat menjadi 1,636 dengan nilai *settlement* sebesar 0,014 m.

Berdasarkan hasil tersebut, metode *replacement* tanah residual dinyatakan aman dan efektif untuk meningkatkan kestabilan pondasi badan jalan pada area dengan kondisi tanah residual yang memiliki potensi longsor tinggi.

Selain meningkatkan faktor keamanan lereng, metode ini juga mampu mengurangi potensi deformasi dan memberikan alternatif penanganan yang aplikatif pada konstruksi jalan di wilayah dengan kondisi geologi serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aradiansyah, Risnita, & Jailani, M. S. 2023. Teknik Pengumpulan Data dan Instrumen Penelitian Ilmiah Pendidikan Pada Pendekatan Kualitatif dan Kuantitatif. *Jurnal IHSAN: Jurnal Pendidikan Islam*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57>
- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., & Swolfs, W. M. 2018. PLAXIS Finite Element Code For Soil and Rock Analyses. *Computers and Geotechnics*, 99, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2018.02.006>
- Brinkgreve, R.B.J., Swolfs, W.M., Engin, E., Waterman, D., Chesaru, A., Bonnier, P. & Galavi, V. 2011. PLAXIS 2D Reference manual. Delft University of Technology and PLAXIS by the Netherlands.
- Dabou, B., Kanali, C., & Abiero-Gariy, Z. 2021. Structural Performance of Laterite Soil Stabilised with Cement and Wood Ash for Use as Road Base Material.
- Duncan, J.M., Wright, S.G. & Brandon, T.L., 2014. Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons.
- El, W., Han, J., & Asce, F. 2014. Displacements of Column-Supported Embankments Over Soft Clay After Widening Considering Soil Consolidation and Column Layout: Numerical analysis. *Soils and Foundations*, 54(6), 1054–1069. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.11.002>
- Evans, J., Ruffing, D., & Elton, D. 2021. Fundamentals of Ground Improvement Engineering (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780367816995>
- Griffiths, D. V., & Fenton, G. A. 2004. Probabilistic slope Stability Analysis By Finite Elements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(5), 507–518.
- Gu, L., Wang, Z., Zhu, W., Jang, B., Ling, X. & Zhang, F. 2021. Numerical analysis of Earth Embankments in Liquefiable Soil and Ground Improvement Mitigation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 146, p.106739.
- Hanif, A. E. P., & Silviana, S. 2023. Kajian Geologi dalam Perencanaan Bendungan: Studi Kasus Bendungan Kerekeh. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 1(3), 79–87. <https://doi.org/10.14710/jpii.2023.17481>
- Hardiyatmo, H.C. 2002. Mekanika Tanah I, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hidayawan, A., Kurniawan, A., Adhi, B. W., Setiyanto, B., & Rahayu, H. 2023. Analisis Sattlement Puncak Bendungan Akibat Proses Konsolidasi dalam Penentuan Camber. *MoDuluS Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 5(1), 1–5. <https://doi.org/10.32585/modulus.v5i1.4397>
- Hidiyati, E. F., Cahyono, A. D., Induwati, M., Emilia, O. F., Mustafa, D. T., Pambudi, W. R., Aprinia, A. D., & Fasyaro, R. F. 2023. Identifikasi Karakteristik Agregat terhadap Nilai Stabilitas Lapis Perkerasan Aspal Beton AC-BC (Laston). *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(1), 193. <https://doi.org/10.29103/tj.v13i1.853>
- Horpibulsuk, S. Rachan, R. & Ruenkairergsa,

- S. 2011. Cement Stabilization of Soft Clay. *Ground Improvement* 164 (2): 79-89.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., Balasubramaniam, A.S. & McIntosh, G. 2012. Soft Ground Improvement Via Vertical Drains and Vacuum Assisted Preloading. *Geotextiles and Geomembranes*, 30, pp.16-23.
- Bowles, J.E. 1996. *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition, New York : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Kamaruddin, K., Haryadi, W., & Wahyudi, M. 2021. Pengaruh Pembangunan Infrastruktur Jalan Raya Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Kabupaten Sumbawa. *Jurnal Ekonomi & Bisnis*, 9(3), 260–267. <https://doi.org/10.58406/jeb.v9i3.511>
- Rahardjo, H., Leong, E.C. & Rezaur, R.B., 2008. Effect of Antecedent Rainfall on Pore-Water Pressure Distribution Characteristics in Residual Soil Slopes Under Tropical Rainfall. *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(4), pp.506-523.
- Shirley, L.H., Raya, P.P.P.T.J., Solihin, S. & Bebas, A.H.U.K.T., Bowles, JE, “Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah”. Alih bahasa Ir. Johan Kelanaputra Hainim. Penerbit Erlangga. Jakarta, 1984. Das, Braja M., “Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)”. Penerbit Erlangga. Jakarta, cetakan ketiga. 1993. Das, Braja M., “Mekanika Tanah Jilid 2 (Prinsip-prinsip Rekayasa).
- Surono. 2009. Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 19(3), 209–221.
- Verma, H., Ray, A., Rai, R., Gupta, T., & Mehta, N. 2021. Ground Improvement Using Chemical Methods: A review. *Heliyon*, 7(7), e07678. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07678>
- Wang, B., Liu, L., Li, Y. & Jiang, Q. 2020. Reliability Analysis of Slopes Considering Spatial Variability of Soil Properties Based on Efficiently Identified Representative Slip Surfaces. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 12(3), pp.642-655.
- Waheed, M. Q., & Asmael, N. M. 2023. Evaluation of Elasticity Modulus of Clayey Soil from Undrained Shear Strength. 01028, 1–10.
- Wesley, L. D. 2010. *Geotechnical Engineering in Residual Soils*. John Wiley & Sons.