

ANALISIS INTEGRATIF DEEP STABILIZATION MENGGUNAKAN DIFA DENGAN VALIDASI UJI LABORATORIUM DAN PEMODELAN GEO5

(Nur Ayu Diana, Teguh Widodo, Rois Muflich)

ANALISIS INTEGRATIF *DEEP STABILIZATION* MENGGUNAKAN DIFA DENGAN VALIDASI UJI LABORATORIUM DAN PEMODELAN GEO5

Nur Ayu Diana^{1*}, Teguh Widodo², Rois Muflich³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta

Tentara Rakyat Mataram No.55-57, Bumijo, Kec.Jetis, Kota Yogyakarta 55231

E-mail: nurayu@janabadra.ac.id^{1*}, teguh_widodo@janabadra.ac.id², roismuflichf@gmail.com³

(*) Penulis Korespondensi

(Artikel dikirim: 13 November 2025, Direvisi: 10 Desember 2025, Diterima: 29 Desember 2025)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30742/axial.v13i3.5010>

ABSTRAK: Stabilitas pondasi jembatan pada akses tambang sering terganggu oleh kondisi tanah dasar labil akibat kadar air tinggi, kemiringan lereng, dan rendahnya daya dukung. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas DIFA *Soil Stabilizer* (DIFA SS) sebagai metode *deep stabilization* yang lebih efisien dibanding perkuatan konvensional. Perbaikan tanah dilakukan dengan mengganti lapisan tanah lunak hingga kedalaman -6,00 m menggunakan campuran DIFA SS semen berukuran 9×6×6 m, serta stabilisasi *in-situ mixing* hingga kedalaman ±7 m dengan volume rata-rata 423,5 m³. Evaluasi dilakukan melalui uji laboratorium (kuat geser, CBR, dan modulus elastisitas) serta pemodelan numerik Geo5. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan parameter mekanik tanah yang berdampak pada penurunan deformasi dan peningkatan stabilitas pondasi. Analisis menunjukkan abutmen aman terhadap guling dan geser dengan faktor keamanan >1,50, aman terhadap daya dukung, serta kestabilan lereng belakang abutmen memenuhi kriteria dengan faktor keamanan 1,75. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap gaya lateral, direkomendasikan penggunaan sembilan blok beton berdiameter 0,9 m dan kedalaman 1,8 m dengan jarak antar sumbu 2,5 m. Analisis *preloading* menunjukkan total penurunan konsolidasi sebesar 1,790 m memerlukan waktu 171,20 tahun untuk mencapai 90% konsolidasi, dengan penurunan selama umur rencana jembatan 20 tahun hanya sekitar 1,61 cm. Secara keseluruhan, DIFA SS terbukti efektif, aman, dan ekonomis, dengan efisiensi biaya hingga 25% serta pengurangan potensi *downtime* operasional tambang hingga 20%.

KATA KUNCI : *Deep Stabilization, DIFA Soil Stabilizer, Geo5 Modeling, Pondasi Jembatan Tambang*

1. PENDAHULUAN

Kinerja fondasi jembatan pada wilayah aluvial dan bantaran sungai sangat dipengaruhi oleh variabilitas sifat tanah dasar yang umumnya memiliki kuat geser rendah, tingkat kejenuhan tinggi, dan kecenderungan kompresibilitas besar. Kondisi ini menyebabkan daya dukung tanah yang terbatas, potensi *excess settlement*, dan kerentanan terhadap deformasi lateral, khususnya pada struktur jembatan yang menerima beban dinamis dan beban berulang dari aktivitas transportasi dan operasional tambang. Studi geoteknik di Indonesia menunjukkan bahwa lapisan tanah lunak pada kedalaman dangkal hingga menengah (5–10 m) sering kali tidak mampu memberikan *subgrade reaction* yang memadai terhadap fondasi tiang tanpa dilakukan perbaikan tanah sebelumnya (Nur, 2021). Penelitian sebelumnya telah mendokumentasikan berbagai upaya perbaikan tanah untuk meningkatkan kinerja fondasi jembatan. Penggunaan metode konvensional seperti stabilisasi kapur atau semen, *sand replacement*, *prefabricated vertical drains* (PVD), dan *stone columns* memiliki keterbatasan

seperti waktu konsolidasi yang panjang, ketidakstabilan pada tanah jenuh, dan biaya konstruksi yang tinggi (Diana, Asih, et al., 2024; Diana & Maretta, 2024). Sementara itu, pendekatan *deep mixing method* (DMM) telah terbukti efektif meningkatkan modulus deformasi dan kekuatan tanah, namun efektivitasnya bergantung pada homogenitas pencampuran serta ketersediaan binder yang sesuai dengan karakteristik mineralogi tanah (Yeginar & Olgun, 2024).

Beberapa penelitian lokal seperti (Diana & Maretta, 2024) serta (Diana, Asih, et al, 2024) menegaskan bahwa fondasi *spun pile* pada tanah lunak di sekitar badan sungai cenderung mengalami penurunan differensial dan *pile head displacement* apabila tidak didukung oleh perbaikan tanah yang cukup. Oleh karena itu, peningkatan kualitas tanah dasar sebelum pemancangan menjadi kebutuhan teknis untuk mengurangi risiko *serviceability failure*. Penelitian (Diana, Swandhana, et al., 2024) melaporkan bahwa aditif kimia berbasis material lokal memiliki potensi memperbaiki parameter tanah melalui mekanisme rekristalisasi dan



pembentukan matriks kaku, namun kajian aplikatif pada kedalaman lebih dari 5 meter masih sangat terbatas kondisi tersebut mengindikasikan adanya *research gap* terkait efektivitas aditif kimia berbasis lokal untuk aplikasi *deep stabilization* pada tanah jenah dengan kedalaman intervensi hingga 7 meter. Selain itu, masih belum banyak penelitian yang mengintegrasikan hasil uji laboratorium dengan pemodelan numerik berbasis *finite element method* (FEM) untuk mengevaluasi respons deformasi dan faktor keamanan fondasi jembatan pasca-stabilisasi.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan DIFA *Soil Stabilizer* (DIFA SS) sebagai binder alternatif dalam metode *in-situ deep stabilization* dengan kedalaman perbaikan ± 7 m dan volume stabilisasi rata-rata $423,5 \text{ m}^3$. Aditif ini bekerja melalui proses modifikasi kimiawi yang bertujuan meningkatkan kuat geser tak terdrainase (*su*), nilai CBR, serta modulus elastisitas tanah melalui pembentukan agregat tanah–binder yang lebih stabil. Evaluasi kinerja dilakukan melalui pengujian laboratorium (UCS, CBR, serta parameter indeks), yang selanjutnya dikalibrasi ke dalam model numerik Geo5 untuk memprediksi *respons* deformasi fondasi *spun pile* berukuran *pile cap* 5×5 m pada bentang sungai selebar 21 m. Kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini meliputi:

1. Penerapan binder berbasis material lokal pada *deep stabilization* hingga 7 m pada tanah jenah,
2. Integrasi hasil pengujian mekanik tanah terstabilisasi dengan pemodelan numerik geoteknik skala struktur,
3. Evaluasi performa stabilisasi dalam konteks beban operasional jembatan akses tambang, serta
4. Penyusunan basis data parametrik dan panduan teknis dosis, kedalaman injeksi, serta waktu *curing* untuk aplikasi lapangan.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan terhadap pengembangan metode stabilisasi tanah yang lebih adaptif, efisien, dan sesuai dengan kondisi geoteknik di Indonesia, khususnya pada proyek jembatan di kawasan tambang. (Diana, Widodo, et al., 2024).

2. METODE PENELITIAN

pendekatan yang digunakan terdiri dari empat tahap utama. Tahap pertama adalah karakterisasi tanah, yang meliputi pengambilan sampel dari lokasi, pengujian sifat fisik dan mekanik dasar (kadar air, berat jenis, UCS awal), serta perumusan awal komposisi stabilisasi (Teguh

widodo, 2024b, 2024a). Selanjutnya, dilakukan eksperimen laboratorium dengan beberapa variasi formulasi campuran antara tanah asli, *filler*, dan bahan pengikat DIFA SS. Hasil pengujian kuat tekan bebas (UCS) pada masing-masing variasi setelah masa *curing* akan dianalisis untuk menentukan formulasi paling efektif (Diana, Swandhana, et al., 2024; Qasim et al., 2015). Pada tahap ketiga, pemodelan numerik dilakukan menggunakan perangkat lunak Geo 5, untuk mensimulasikan perilaku tanah hasil stabilisasi di bawah beban *pile cap*. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi terhadap data uji laboratorium dan observasi lapangan. Terakhir, dilakukan uji coba terbatas di lapangan untuk mengevaluasi kinerja metode pada kondisi aktual.

Penelitian terkait stabilisasi tanah telah banyak dilakukan menggunakan berbagai bahan seperti semen, kapur, *fly ash*, dan *additif* berbasis kimia (Harianto et al., 2017; Wang et al., 2019; Wu et al., 2021). Beberapa studi menunjukkan bahwa DIFA SS memiliki potensi dalam meningkatkan stabilitas tanah lunak, terutama pada tanah organik atau pasir. Penggunaan metode stabilisasi massa untuk memperbaiki daya dukung dan mengurangi penurunan telah diterapkan dalam berbagai skala (Diana, Ekaputri, et al., 2024). Namun, aplikasi metode ini secara khusus untuk fondasi *spun pile* dengan kedalaman stabilisasi serta integrasi uji laboratorium, pemodelan numerik, dan validasi lapangan secara sistematis masih sangat terbatas. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan terpadu yang digunakan, yakni kombinasi pengujian laboratorium dengan formulasi komposisi spesifik, pemodelan numerik untuk memprediksi respons tanah terhadap beban struktural, serta validasi langsung melalui uji lapangan. Selain itu, luaran berupa panduan teknis yang disusun berdasarkan data empiris menjadikan penelitian ini relevan secara ilmiah maupun praktis untuk digunakan dalam proyek infrastruktur serupa.

Prosedur Penelitian

a. Identifikasi Lokasi Penelitian

Penentuan lokasi dilakukan dengan mengacu pada data sekunder seperti peta geologi, data SPT, riwayat genangan air, serta potensi likuifaksi. Lokasi dipilih di area kawasan industri atau jalan akses berat yang memiliki kondisi tanah lunak/lepas.

b. Pengambilan dan Pengujian Sampel Tanah Asli

Sampel tanah diambil dengan metode sondir dan pengeboran di beberapa titik. Selanjutnya dilakukan pengujian

ANALISIS INTEGRATIF DEEP STABILIZATION MENGGUNAKAN DIFA DENGAN VALIDASI UJI LABORATORIUM DAN PEMODELAN GEO5

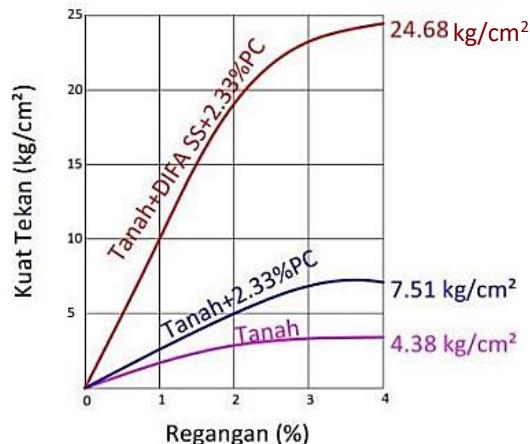
(Nur Ayu Diana, Teguh Widodo, Rois Muflich)

- laboratorium meliputi:
- Uji sifat fisik tanah: kadar air, berat jenis, analisis saringan, konsistensi *Atterberg*, berat volume, dan *void ratio*.
 - Uji sifat mekanik tanah: CBR, pemadatan (*Modified Proctor*), UCS (*Unconfined Compressive Strength*), dan *direct shear test*.
- c. **Perancangan Komposisi Campuran (Mix Design)**
Bahan stabilisasi yang digunakan adalah DIFA SS (produk campuran berbasis *fly ash* dengan reaktivator khusus) dan semen Portland. Komposisi campuran dirancang dengan beberapa variasi. Seluruh sampel distabilisasi kemudian dilakukan pemeraman untuk melihat perkembangan kekuatan (Diana & Mareta, 2024).
- d. **Uji Tanah Setelah Distabilisasi**
Setelah pemeraman, dilakukan kembali pengujian laboratorium untuk mengevaluasi efek stabilisasi:
- Uji CBR
 - UCS (setelah stabilisasi)
 - Pemadatan dan pengujian kadar air optimum
 - Analisis kuat geser (*direct shear*)
- Hasil ini dibandingkan dengan kondisi tanah asli.

- e. **Simulasi dan Validasi**
Model hasil stabilisasi dimasukkan ke dalam perangkat lunak geoteknik (Geo5) untuk mensimulasikan respon tanah terhadap beban lalu lintas. Hal ini untuk memvalidasi secara numerik bahwa peningkatan kekuatan cukup signifikan untuk mengurangi risiko deformasi atau keruntuhan (Singh & Kumar, 2023).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh indikator capaian berhasil dipenuhi melalui rangkaian pengujian laboratorium dan validasi numerik. Tiga variasi campuran stabilisasi menggunakan DIFA *Soil Stabilizer* berhasil disiapkan dan diuji, masing-masing memberikan respons yang berbeda terhadap peningkatan parameter mekanik tanah. Pengujian kuat tekan (UCS), **Gambar 1** menunjukkan peningkatan signifikan, di mana seluruh variasi campuran menghasilkan nilai UCS minimal 2–3 kali lipat lebih tinggi dibandingkan tanah asli.



Gambar 1. Hasil uji kuat tekan bebas pada umur benda uji 1 hari
(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

Tanah awal dengan CBR sekitar 2% meningkat menjadi lebih dari 6%, yang menegaskan efektivitas proses *deep stabilization* terhadap peningkatan daya dukung. Selain itu, pengujian kuat tekan bebas (UCS) memperlihatkan kenaikan yang konsisten dan signifikan, dengan nilai UCS melampaui 1500 kPa untuk tanah lepas, sehingga menunjukkan adanya perbaikan struktur internal tanah akibat proses pengikatan dan pengerasan kimiawi dari DIFA SS.

Tabel 1. Komposisi mix design campuran

Kode	Komposisi		UCS (Kg/cm²)	CBR (%)	CBRxFK (%)
	Tanah (1m³)	Semen (kg)			
TH-1	1	100	13,56	67,8	56,28
TH-2	1	120	16,44	82,18	68,21
TH-3	1	140	17,24	86,18	71,53
TH-4	1	160	18,84	94,19	78,18
TH-5	1	180	19,25	96,27	79,90
TH-6	1	200	26,57	132,87	110,28
TH-7	1	220	27,45	137,23	113,90

(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

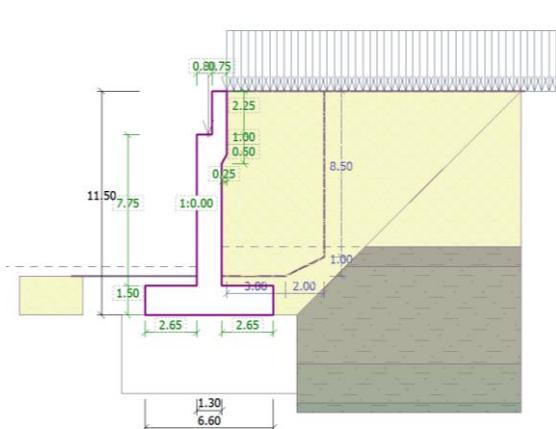
Dengan melakukan pendekatan berbasis keserupaan karakteristik tanah pada beberapa benda uji sebelumnya, komposisi campuran yang optimal dapat dirumuskan. Pendekatan ini memungkinkan penentuan proporsi material yang paling sesuai untuk mencapai sifat teknis yang diharapkan, seperti peningkatan kekuatan geser, daya dukung, dan stabilitas campuran. komposisi campuran dapat dilihat dalam **Tabel 1**. Dengan mempertimbangkan kebutuhan peningkatan daya dukung dan kepadatan tanah, komposisi campuran yang direkomendasikan untuk mencapai target stabilisasi yakni nilai CBR diatas 50% atau nilai SPT setara 30 pukulan (Fakroh et al., 2025) adalah 1 m³ tanah yang dicampur dengan 120 kg semen serta 1 kg bahan aditif DIFA SS. Proporsi ini dinilai mampu

Tabel 2. Rekapitulasi kombinasi pondasi dan *pile cap* abutmen

Load	Code	P (kN)	Tx (kN)	Ty (kN)	Mx (kN)	My (kN)
Service 1	DL1	11800,42	63,24	4121,77	4890,84	619,21
Service 2	DL2	12224,11	0,74	4156,79	5356,62	7,62
Service 3	DL3	11517,97	0,47	4098,42	4580,31	4,86
Service 4	DL4	10342,28	67,18	4005,03	3338,23	616,95
Service 4 + 70% (Eqx+0.3 Eqy)		11372,59	529,36	5573,81	14959,57	4016,22
Service 4 + 70% (Eqx+0.3 Eqy)		11417,54	1427,38	4752,43	9675,34	10089,81

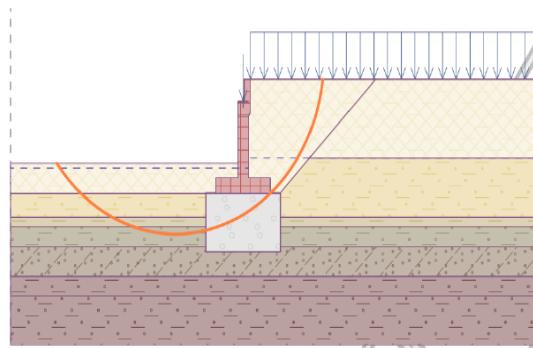
(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

memberikan ikatan antarpartikel yang lebih kuat, meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, serta menghasilkan tanah yang lebih stabil untuk mendukung struktur di atasnya. Dari kombinasi campuran tersebut kemudian dimodelkan mensimulasikan respon tanah terhadap beban lalu lintas pada abutmen menggunakan *software* Geo 5 yang dapat dilihat pada **Gambar 2**.

**Gambar 2.** Desain pembebangan abutmen
(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

Berdasarkan input pembebangan yang bekerja pada abutmen, diperoleh rekapitulasi beban layan beserta kombinasi pembebangannya. Rincian nilai beban yang diterima pondasi dan *pile cap* disajikan secara lengkap pada **Tabel 2**, dimana diketahui nilai gaya vertikal (P), gaya horizontal arah sumbu x dan sumbu y (Tx dan Ty) dan momen arah sumbu x dan sumbu y (Mx dan My). Pemeriksaan stabilitas abutmen dilakukan dengan mempertimbangkan empat aspek utama, yaitu stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser atau potensi kelongsoran, stabilitas daya dukung, serta stabilitas lereng di sekitar struktur (Ahab et al., 2025; Fatchurrohman et al., 2025). Analisis ini dilaksanakan melalui dua tahap. Pada tahap pertama, seluruh komponen pembebangan diaktifkan, meliputi beban aktif dan pasif tanah,

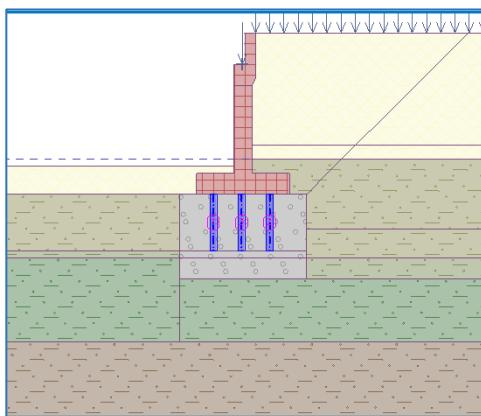
beban struktur jembatan, *surcharge*, tekanan air tanah, serta berat sendiri abutmen. Tahap berikutnya adalah aktivasi zona perbaikan tanah menggunakan metode stabilisasi DIFA SS - semen dengan ketinggian enam meter di bawah dasar abutmen. Tahapan ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan geser, kekakuan, dan daya dukung tanah sehingga stabilitas keseluruhan sistem abutmen dapat terjamin.

**Gambar 3.** Analisis stabilitas dan daya dukung tanah dan abutmen
(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

Berdasarkan hasil analisis **Gambar 3** tersebut dapat disimpulkan bahwa desain abutmen berada dalam kondisi aman terhadap potensi guling, geser, kestabilan lereng, maupun daya dukung. Meskipun demikian, untuk lebih meningkatkan kapasitas daya dukung tanah pada area di bawah zona perbaikan tanah, dapat direncanakan pemasangan elemen tambahan berupa *micropile*. Pada desain alternatif kedua, dilakukan penambahan *pile anti-slip* yang dipasang di bawah lapisan DIFA SS – cement (*soil improvement*). Hasil perencanaan untuk konfigurasi desain kedua ini ditunjukkan pada **Gambar 4**.

ANALISIS INTEGRATIF DEEP STABILIZATION MENGGUNAKAN DIFA DENGAN VALIDASI UJI LABORATORIUM DAN PEMODELAN GEO5

(Nur Ayu Diana, Teguh Widodo, Rois Muflich)



Gambar 4. rekomendasi perkuatan abutmen menggunakan *micropile*
(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

Pada desain ini, pendekatan nilai DIFA digunakan untuk memodifikasi karakteristik tanah sehingga berperilaku sebagai tanah berkekuatan menengah hingga kaku (*medium-stiff*) yang mampu menahan beban dari abutmen. Material DIFA SS diasumsikan memiliki nilai CBR sebesar 50% atau setara dengan nilai N-SPT sekitar 30, sehingga parameter tanah yang diperoleh dapat digunakan dalam analisis perhitungan. Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya, diperoleh kapasitas daya dukung akhir (Q_{final}) sebesar 47,51 ton/m² dan penurunan total (Sc_{total}) sebesar 1,790 m. Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu

yang dibutuhkan untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% guna mengevaluasi kecepatan penurunan dan memastikan kinerja jangka panjang pondasi dengan waktu konsolidasi dihitung menggunakan persamaan:

$$t = Tv \times (Hdr^2 / Cv)$$

Karena nilai parameter tanah pada kedalaman 0–6 m berubah menjadi pasir (DIFA SS – semen) yang tidak memiliki nilai C_c dan C_s , maka lapisan tersebut diabaikan dalam perhitungan konsolidasi pada lapisan *compressible soil* hingga didesain hingga kedalaman 6m. Dengan demikian, ketebalan lapisan tanah yang dihitung sebagai lapisan kompresibel adalah:

$$Hdr \text{ efektif} = 14 \text{ m} - 6 \text{ m} = 8 \text{ m}$$

Untuk analisis konsolidasi satu dimensi dengan derajat konsolidasi $U = 90\%$, digunakan faktor waktu nondimensi:

$$Tv = 0,848$$

Apabila lapisan mengalami drainase ganda (*double drainage*), maka jalur drainase adalah:

$$Hdr = 8 \text{ m} / 2 = 4 \text{ m}$$

$$t = 0,848 \times (4^2 / Cv) = 13,568 / Cv$$

Apabila drainase tunggal (*single drainage*), maka jalur drainase adalah:

$$Hdr = 8 \text{ m}$$

$$t = 0,848 \times (8^2 / Cv) = 54,272 / Cv$$

Tabel 3 merupakan perhitungan besarnya penurunan konsolidasi yang terjadi selama umur rencana jembatan (20 tahun).

Tabel 3. Rekapitulasi sattlement desain pondasi jembatan (20 tahun)

No	t (tahun)	Tv	Uv	Sc (cm)	Δ Sc (cm)
1	1	0.00495	7,94%	14.21	14.21
2	2	0.00991	11,23%	20.1	5.89
3	3	0.01486	13,75%	24.62	4.52
4	4	0.01981	15,88%	28.43	3.81
5	5	0.02477	17,76%	31.78	3.36
6	6	0.02972	19,45%	34.81	3.03
7	7	0.03467	21,01%	37.6	2.79
8	8	0.03963	22,46%	40.2	2.6
9	9	0.04458	23,82%	42.64	2.44
10	10	0.04953	25,11%	44.94	2.31
11	11	0.05448	26,34%	47.14	2.19
12	12	0.05944	27,51%	49.23	2.1
13	13	0.06439	28,63%	51.24	2.01
14	14	0.06934	29,71%	53.18	1.93
15	15	0.0743	30,76%	55.05	1.87
16	16	0.07925	31,77%	56.85	1.81
17	17	0.0842	32,74%	58.6	1.75
18	18	0.08916	33,69%	60.3	1.7
19	19	0.09411	34,62%	61.95	1.65
20	20	0.09906	35,51%	63.56	1.61

(Sumber : Hasil pengujian, 2024)

4. KESIMPULAN

Perbaikan tanah dilakukan dengan mengganti lapisan tanah lunak pada kedalaman -6,00 m menggunakan campuran DIFA SS semen berukuran $9 \times 6 \times 6$ m. Hasil analisis menunjukkan bahwa abutmen aman terhadap guling dan geser dengan faktor keamanan $>1,50$, serta aman terhadap daya dukung. Kestabilan lereng di belakang abutmen juga memenuhi kriteria dengan faktor keamanan 1,75 ($>1,50$).

Untuk meningkatkan ketahanan terhadap gaya guling dan geser, direkomendasikan penggunaan blok beton berdiameter 0,9 m, kedalaman 1,8 m, sebanyak 9 buah dengan jarak antar sumbu 2,5 m. Berdasarkan analisis preloading, total penurunan konsolidasi (Sc) sebesar 1,790 m memerlukan waktu 171,20 tahun untuk mencapai 90% konsolidasi. Dalam umur rencana jembatan 20 tahun, penurunan yang terjadi hanya sekitar 1,61 cm, sehingga masih dalam batas aman.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Teknik Universitas Janabadra atas dukungan pendanaan melalui hibah penelitian yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Bantuan dan dorongan dari pihak fakultas sangat berharga dalam penyelesaian penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ahab, J. J., Diana, N. A., Widodo, T., Sipil, J. T., Teknik, F. & Janabadra, U. (2025). *Perencanaan pondasi dinamis mesin produksi tembaga pt. batutua kharisma permai*. 13(2), 165–172.
- Diana, N. A., Asih, R., Soemitro, A., Ekaputri, J. J., Satrya, R. & Warnana, D. D. (2024). *Evaluasi Risiko Likuifaksi Berdasarkan Karakteristik Ukuran Butir Tanah dan Hasil Tahanan Standart Penetration Test (N-SPT) Studi kasus Bandara Yogyakarta Internasional Airport Evaluation of Liquefaction Risk Based on Soil Grain Size Characteristics and*. 1.
- Diana, N. A., Ekaputri, J. J., Satrya, T. R. & Warnana, D. D. (2024). *Biocementing Process to Improve the Physical and*.
- Diana, N. A. & Maretta, G. E. (2024). *An Analysis of the Slope Stability of Young Rock Cliffs in Sibang , Bali Using GEO5 Analisis Stabilitas Lereng Tebing Batuan Muda Di Sibang , Bali menggunakan GEO5*. 22(2), 68–74.
- Diana, N. A., Swandhana, R. & Widodo, T. (2024). Bolstering Sandy Soil Stability: Evaluating Fly Ash Integration for Enhanced Shear Strength. *15th International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies, ACT 2024*, 2, 2745–2752.
- Diana, N. A., Widodo, T. & Asep Syarip Hidayat. (2024). Kinerja Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah Dengan Bahan Tambah Matos Soil Stabilizer Pada Ruas Entikong – Rasau 2. *Agregat*, 9(1), 1037–1041. <https://doi.org/10.30651/ag.v9i1.22180>
- Fakroh, A., Sultan, I., Yusuf, A. R. & Cangara, S. (2025). *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi Penggunaan Larutan Soil Stabiliser Dan Semen Terhadap Nilai CBR Tanah Lempung Jalan Poros Maros Camba*. 3(2), 209–215. <https://doi.org/10.56326/jptsk.v3i2.4329>
- Fatchurrohman, R. M., Widodo, T., Diana, N. A., Fatchurrohman, R. M., Widodo, T. & Diana, A. (2025). *PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA PEMODELAN STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS 2D PADA PROJECT JEMBATAN DI HALMAHERA*. 6317(c), 182–192.
- Harianto, T., Hijraini Nur, S. & Arfandy, R. A. (2017). *Stabilisasi Tanah Ekspansive Dengan Metode Bioremediasi*.
- Nur, A. D. C. D. (2021). Kapasitas Dukung Tiang Tunggal Terhadap Beban Lateral Bangunan Gudang Petikemas Pelabuhan Tanjung Perak. *Agregat*, 6(1), 493–498.
- Qasim, M., Bashir, A., Tanvir, M. & Anees, M. M. (2015). Effect of Rice husk on soil stabilization. *Bulletin of Energy Economics*, 3(1), 10–17. <http://www.tesdo.org/JournalDetail.aspx?Id=4>
- Singh, D. & Kumar, V. (2023). Slope Stability Analysis of Highway Embankment by Using GEO5 Software. *Lecture Notes in Civil Engineering*, 280(September), 249–257. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4739-1_24
- Teguh widodo, nur ayu diana. (2024a). *Effective Mixing Lag Time of Two Phase Lime-Cement Stabilization on High Plasticity Clay*.
- Teguh widodo, nur ayu diana. (2024b). *Optimum Content of Matos as an Additive in the Application of Cement Soil Stabilization as a Cement Composite Soil Base Layer*.
- Wang, Y., Soga, K., DeJong, J. T. & Kabla, A. J. (2019). A microfluidic chip and its use in characterising the particle-scale behaviour

**ANALISIS INTEGRATIF DEEP STABILIZATION MENGGUNAKAN DIFA
DENGAN VALIDASI UJI LABORATORIUM DAN PEMODELAN GEO5**
(Nur Ayu Diana, Teguh Widodo, Rois Muflich)

- of microbial-induced calcium carbonate precipitation (MICP). *Geotechnique*, 69(12), 1086–1094.
<https://doi.org/10.1680/jgeot.18.P.031>
- Wu, T. W., Suzuki, Y., Carlton, B., Harbitz, C. & Kopf, A. (2021). Effect of prior small to moderate seismic events on monotonic undrained shear strength of sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141(July 2020), 106465.
- <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106465>
- Yenginar, Y. & Olgun, M. (2024). Physical, mechanical, and microstructural characteristics of fly ash replaced cement deep mixing columns. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 83(8), 1–24.
<https://doi.org/10.1007/s10064-024-03800-z>