



STUDI LITERATUR MENGENAI BERBAGAI TEKNIK STABILISASI TANAH SEBAGAI SOLUSI PERMASALAHAN GEOTEKNIK

M.Rendy Wibawa^{1*}, Yanda Prawira²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pertahanan Republik Indonesia,
rendywibawa01@gmail.com

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur di Indonesia seringkali dihadapkan pada kondisi tanah dasar yang lunak, yang memiliki karakteristik daya dukung rendah dan kompresibilitas tinggi, sehingga berpotensi menyebabkan penurunan berlebih dan ketidakstabilan konstruksi. Studi literatur ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan berbagai metode perbaikan tanah yang umum digunakan sebagai solusi atas permasalahan tersebut. Kajian ini menganalisis berbagai pendekatan teknis, mulai dari metode yang bertujuan untuk percepatan konsolidasi, perkuatan kolom vertikal, hingga pemanfaatan material perkuatan modern dan metode-metode tradisional. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun metode rekayasa modern menawarkan efektivitas teknis yang tinggi, pemilihan solusi yang paling optimal di lapangan tidak hanya bergantung pada kondisi geoteknik, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor ekonomi, ketersediaan material, dan kendala waktu pelaksanaan proyek. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan holistik dalam memilih metode perbaikan tanah yang paling sesuai untuk menjamin keberhasilan proyek infrastruktur di atas tanah lunak.

Kata kunci : tanah lunak, rekayasa geoteknik, stabilisasi tanah.

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur transportasi, seperti jalan tol, merupakan salah satu pilar utama untuk mendorong pertumbuhan ekonomi nasional dan konektivitas antar [1]. Seiring dengan pesatnya laju pembangunan di Indonesia, kebutuhan akan lahan konstruksi yang layak semakin meningkat, padahal ketersediaan lahan yang ideal semakin menipis [2]. Keberhasilan setiap proyek konstruksi pada dasarnya sangat ditentukan oleh kondisi dan karakteristik tanah dasar yang akan menopang beban struktur di atasnya [3].

Objek utama dalam konteks rekayasa geoteknik adalah tanah itu sendiri, yang seringkali menjadi kendala utama dalam pelaksanaan proyek [4]. Kondisi tanah di lokasi-lokasi seperti ini seringkali dikategorikan sebagai "tanah bermasalah" (*problematic soils*), yang memerlukan perhatian dan penanganan khusus sebelum konstruksi dapat dimulai [5].

Fenomena yang paling sering dijumpai adalah keberadaan lapisan tanah lunak dengan ketebalan yang signifikan, didominasi oleh material lempung, lanau, dan terkadang gambut [6]. Sebagai contoh, pada proyek Jalan Tol Cisumdawu dan Krian-Legundi-Bunder-Manyar, lapisan tanah lunak ditemukan hingga kedalaman 12-14 meter [7].

Tanpa penanganan yang tepat, membangun di atas tanah bermasalah dapat menimbulkan dampak merusak, seperti terjadinya penurunan berlebih (*excessive settlement*) dan penurunan tidak seragam (*differential settlement*) [2]. Dalam kasus yang lebih ekstrem, daya dukung tanah yang rendah dapat memicu kegagalan stabilitas timbunan dan kelongsoran (*landslide*), seperti yang pernah terjadi pada proyek Jalan Tol Batang-[4]. Tanah lunak seperti lempung dan lanau memiliki koefisien permeabilitas yang kecil, sehingga proses pemampatan atau konsolidasi berjalan sangat lambat [8]. Sementara itu, penyebab likuifaksi adalah hilangnya kekuatan geser efektif tanah akibat peningkatan tekanan air pori yang dipicu oleh beban siklik cepat dari gempa bumi [9].

Untuk mengatasi berbagai permasalahan tersebut, intervensi teknis melalui metode perbaikan tanah (soil improvement) menjadi sebuah keharusan. Terdapat berbagai macam solusi, antara lain metode pemanatan dalam seperti *Cement Deep Mixing* (CDM) dan *Stone Columns*. Selain itu, metode percepatan konsolidasi seperti *Surcharge Preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD), serta penggunaan perkuatan *Geosynthetic Encased Stone Columns* (GESC) juga umum digunakan untuk meningkatkan stabilitas [3]. Pemilihan metode yang paling tepat bergantung pada berbagai faktor, termasuk jenis tanah, skala proyek, batasan waktu, dan efisiensi biaya [6]. Oleh karena itu, sebuah kajian literatur yang sistematis diperlukan untuk merangkum dan menganalisis berbagai metode tersebut.

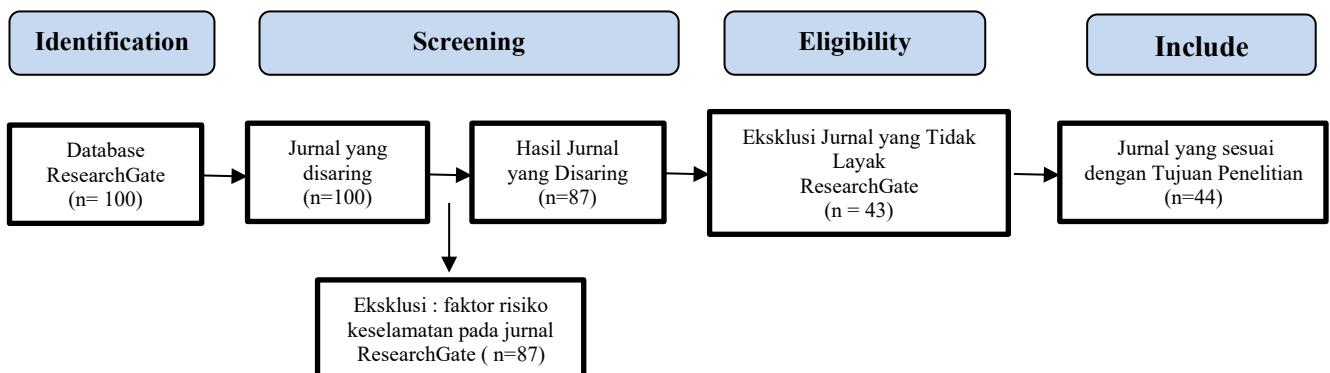
2 METODE

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini didesain sebagai sebuah studi literatur sistematis (*systematic literature review*). Desain ini dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan menginterpretasi seluruh penelitian yang relevan terkait topik perbaikan tanah. Fokus utama dari desain ini adalah untuk menyajikan rangkuman komprehensif dari berbagai teknik stabilisasi tanah, menganalisis efektivitasnya, serta memetakan perkembangan terkini dalam bidang rekayasa geoteknik berdasarkan sumber-sumber akademis yang terpercaya.

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif berbagai teknik perbaikan tanah yang diaplikasikan untuk mengatasi permasalahan geoteknik, yang dilakukan melalui metode literature review. Data dari berbagai sumber ilmiah yang relevan dianalisis dengan mengklasifikasikan setiap metode perbaikan tanah berdasarkan prinsip dasarnya (misalnya, metode mekanis, kimiawi, dan hidrolis). Selanjutnya, dilakukan analisis komparatif untuk mengevaluasi lingkup penerapan dan efektivitas setiap metode pada jenis tanah bermasalah yang spesifik



Gambar 1. PRISMA Diagram Alir Penelitian

Sumber: Penulis, 2025

2.3 Variabel Penelitian

Penelitian ini membandingkan berbagai metode perbaikan tanah seperti Stone Columns, PVD, cerucuk bambu, grouting, geosintetik. Efektivitas setiap metode dievaluasi berdasarkan dampaknya terhadap tiga hal utama: peningkatan daya dukung, pengurangan penurunan (settlement), dan peningkatan stabilitas lereng. Dalam mengidentifikasi metode perbaikan tanah, beberapa metode kegiatan dijadikan variabel penelitian ini diantaranya :

Tabel 1. Daftar Variabel Penelitian

No	Kode Variabel	Variabel	Referensi
1	X1	Stone column	(Alam Maulana et al., 2019; Aulia Mudzalifah Maksum & Mufti Ahmad, 2025; Rezha Pratama & Noer Hamdhan, 2024; Suroso et al., 2021)
2	X2	PVD	(Bambang Siswanto et al., 2023; Gregorius Sandjaja, 2023; Irsan et al., 2019; E. T. Utami et al., 2019; Zhafirah & Amalia, 2019)
3	X3	Cerucuk bambu	(Faradila, 2023; Matheus & Hartono, 2024; Meiprastyo et al., n.d.; Surya Agung Widodo et al., 2022; Zhafirah & Amalia, 2019)
4	X4	Grouting	(fajar Gusti Lelono, 2022; Hartono & Santoso, 2021; Lebang & Yunianti, 2023; Standyarto et al., 2023; Surya Isadono, 2020a)
5	X5	Geosintetik	(Surya Isadono, 2020b)(F. Gusti Lelono, 2022)(Dua Lembang, 2021)(Sigit Pramono & Noer Hamdhan, 2024)(Muzaidi & Anggraini, 2023)

Sumber : Olahan Penulis,2025

Variabel yang ditunjukkan oleh Tabel 1 menunjukkan sumber-sumber risiko keselamatan konstruksi. Sumber-sumber tersebut meliputi manusia, metode, mesin, material, lingkungan, dan manajemen. Variabel-variabel yang tercantum dalam Tabel 1 ini akan diteliti lebih lanjut melalui kajian literatur dari berbagai artikel dan penelitian terdahulu yang membahas risiko keselamatan dalam proyek konstruksi jembatan.

2.4 Teknik Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dengan metode studi dokumentasi, yaitu dengan menelusuri dan mengumpulkan artikel ilmiah, jurnal, prosiding konferensi, dan laporan teknis. Pencarian literatur difokuskan pada basis data akademis digital seperti Google Scholar, Scopus, ScienceDirect, dan portal jurnal teknik sipil nasional maupun internasional [10]. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian mencakup (namun tidak terbatas pada): "*soil improvement*", "*ground improvement*", "stabilisasi tanah", "*soft soil*", "*stone column*", "*preloading*", "PVD", "*deep mixing*", dan "perkuatan tanah" yang dikumpulkan disajikan dalam bentuk tabel. Data yang diperoleh di dalam tabel selanjutnya akan diolah dengan metode checklist sehingga akan didapat seberapa banyak referensi yang menyebutkan faktor risiko terkait.

2.5 Teknik Analisis Data

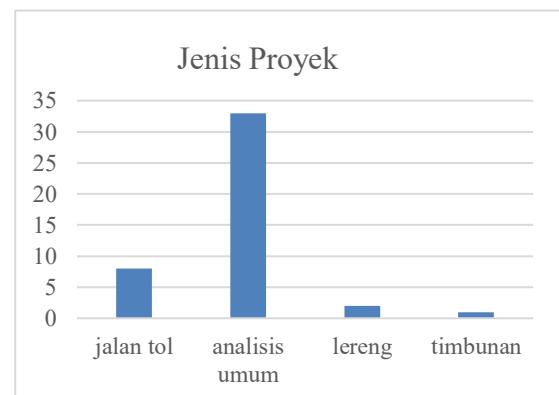
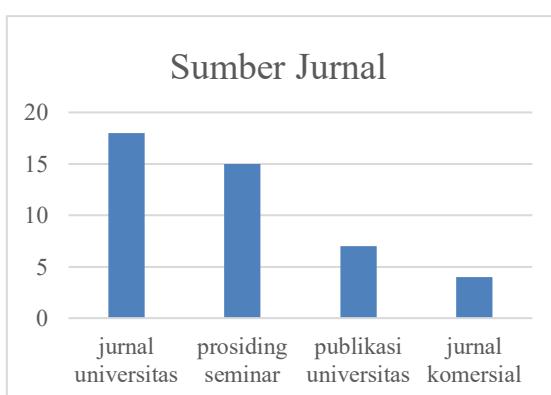
Analisis data dalam penelitian ini menerapkan pendekatan sintesis tematik (thematic synthesis), yang merupakan metode sistematis untuk menganalisis data dari studi kualitatif dan ulasan literatur. Proses ini melibatkan pengidentifikasi tematika utama yang muncul dari literatur, pengelompokan temuan-temuan serupa, dan pengembangan tema analitis untuk menjelaskan fenomena secara (Thomas & Harden, 2008). Data yang telah diekstraksi dikelompokkan berdasarkan jenis metode perbaikan tanah, kemudian dianalisis secara komparatif untuk mengidentifikasi pola, persamaan, dan perbedaan dalam aplikasi, efektivitas, dan tantangan dari masing-masing metode

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Data

a) Kategori Referensi

Untuk menganalisis berbagai literatur yang digunakan, maka dalam penelitian ini dikategorikan dalam beberapa referensi. Dalam proses pengelompokan kategori ini dilakukan untuk mengetahui tren publikasi literatur dalam penelitian ini. Adapun kategori-kategori dalam mengidentifikasi tren tersebut diantaranya tahun, jenis proyek, dan sumber jurnal.





Gambar 2. Distribusi Jurnal
Sumber : Olahan Penulis, 2025

Berdasarkan analisis grafik, sebagian besar referensi dalam penelitian ini berasal dari tahun 2022, menunjukkan dominasi penelitian terkini, sementara artikel sebelum 2020 memiliki frekuensi yang lebih rendah. Dalam distribusi jenis proyek, kategori analisis umum memiliki jumlah publikasi tertinggi, diikuti oleh kategori jalan tol, menandakan bahwa banyak studi yang tidak terbatas pada jenis proyek tertentu. Dari segi sumber publikasi, jurnal Universitas mendominasi, diikuti oleh prosiding seminar, publikasi universitas, dan jurnal komersial, yang mencerminkan tren penerbitan berbasis komersial.

b) Meta Analisis

Pengumpulan data yang telah diperoleh dari 44 artikel ilmiah selanjutnya akan disajikan dalam tabel berikut ini. Tabel ini menunjukkan hasil identifikasi metode-metode perbaikan tanah pada berbagai proyek dimana metode perbaikan tanah tersebut di kelompokkan menjadi enam kelompok yaitu stone column (1), PVD (2), cerucuk bambu (3), grouting (4), dan geosintetik (5). Penemuan metode perbaikan tanah dari setiap artikel akan ditandai (✓) pada bagian kolom faktor terkait.

Tabel 2. Meta Analisis artiker Literatur

No	Sumber	Tahun	Metode Perbaikan				
			X1	X2	X3	X4	X5
1	(Zhafirah & Amalia, 2019)	2019	✓				
2	(Irsan et al., 2019)	2019	✓				
3	(E. T. Utami et al., 2019)	2019	✓				
4	(Gihlang Ramadhan et al., 2019)	2019	✓				
5	(Alam Maulana et al., 2019)	2019	✓				
6	(Ma'ruf et al., 2020)	2020	✓				
7	(Susiazti et al., 2020)	2020	✓				
8	(Lumban Gaol et al., 2020)	2020	✓				
9	(Yapriadi et al., 2020)	2020	✓				
10	(Surya Isadono, 2020a)	2020		✓			
11	(Surya Isadono, 2020b)	2020			✓		
12	(Yapriadi et al., 2020)	2021	✓				
13	(Suardi et al., 2021)	2021	✓				
14	(Sastilaya & Sandjaja, 2021)	2021	✓				
15	(Suroso et al., 2021)	2021	✓				
16	(Hartono & Santoso, 2021)	2021			✓		
17	(Dua Lembang, 2021))	2021				✓	

18	(Refi & Marsiamto, 2022)	2022	✓
19	(Husni Malik Hasibuan et al., 2022)	2022	✓
20	(Al Huda et al., 2022)	2022	✓
21	(Fajar Nugraha & Susandi, n.d.)	2022	✓
22	(Nur et al., n.d.)	2022	✓
23	(Surya Agung Widodo et al., 2022)	2022	✓
24	(fajar Gusti Lelono, 2022)	2022	✓
25	(Anggrahini et al., 2022)	2022	✓
26	(Aslam & Gofar, 2022)	2022	✓
27	(Qowiyyul & Pria, 2023)	2023	✓
28	(Gregorius Sandjaja, 2023)	2023	✓
29	(Aini et al., 2023)	2023	✓
30	(Bambang Siswanto et al., 2023)	2023	✓
31	(Faradila, 2023)	2023	✓
32	(Standyarto et al., 2023)	2023	✓
33	(Lebang & Yunianti, 2023)	2023	✓
34	(Muzaidi & Anggraini, 2023)	2023	✓
35	(Husairi et al., 2024)	2024	✓
36	(Alfana et al., 2024)	2024	✓
37	(Rezha Pratama & Noer Hamdhan, 2024)	2024	✓
38	(Matheus & Hartono, 2024)	2024	✓
39	(Alfith Shodikin et al., 2024)	2024	✓
40	(Sigit Pramono & Noer Hamdhan, 2024)	2024	✓
41	(Hayati et al., 2025)	2025	✓
42	(Wintoro et al., 2025)	2025	✓
43	(Aulia Mudzalifah Maksum & Mufti Ahmad, 2025)	2025	✓
44	(Meiprastyo et al., n.d.)	2025	✓

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Tabel 3. Frekuensi Penemuan Metode Perbaikan Tanah

Kode Variabel	Sumber	Jumlah Artikel	Frekuensi	Persentase	Peringkat
X1	Stone column	44	8	18,18%	2
X2	PVD/Preloading	44	19	43,18%	1
X3	Cerucuk bambu	44	5	11,36%	3
X4	Grouting	44	2	4,55%	5
X5	Geosintetik	44	5	11,36%	4

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Data dari tabel tersebut menunjukkan urutan metode perbaikan tanah yang paling sering dibahas dalam penelitian. Metode PVD/Preloading menempati peringkat pertama dengan porsi 43,18%, karena menjadi solusi paling populer untuk proyek besar di atas tanah lunak. Di posisi berikutnya, ada metode Stone Column (18,18%) yang dianggap sebagai teknik dasar yang kuat dan terpercaya. Menariknya, penelitian menunjukkan adanya keseimbangan antara penggunaan material modern seperti Geosintetik (11,36%) dan pemanfaatan bahan

tradisional yang ramah lingkungan seperti Cerucuk Bambu (11,36%). Terakhir, metode Grouting (4,55%) adalah yang paling jarang dibahas karena penggunaannya sangat khusus.

3.2 Pembahasan

Kajian literatur ini memberikan identifikasi yang komprehensif terhadap penelitian terkini mengenai metode-metode perbaikan tanah pada berbagai proyek. Hasil menunjukkan bahwa sumber dengan frekuensi yang sering muncul berasal dari PVD, diikuti dengan Stone column, geosintetik, cerucuk bambu, dan terakhir grouting. Pada bagian pembahasan ini akan dibahas secara rinci metode-metode perbaikan tanah yang menjadi variabel dalam penelitian ini.

a) PVD/Preloading

Metode *Preloading* yang dikombinasikan dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PWD) adalah solusi umum untuk mempercepat konsolidasi pada tanah lunak (Refi & Marsiamto, 2022). Prinsipnya adalah memberikan beban timbunan sementara (*preloading*) untuk menekan tanah, sementara PVD menyediakan jalur drainase vertikal buatan untuk memperpendek lintasan keluarnya air pori [11]. Kombinasi ini terbukti sangat efektif, mampu mengurangi waktu penurunan dari puluhan tahun menjadi hanya beberapa bulan [12].

Keberhasilan metode ini sangat bergantung pada beberapa faktor desain, seperti panjang PVD yang menembus lapisan lunak, jarak antar PVD, dan pola pemasangan yang digunakan [13]. Semakin panjang dan rapat PVD dipasang, terutama dengan pola segitiga, proses konsolidasi akan berjalan lebih cepat [14]. Meskipun demikian, tantangan di lapangan dapat muncul, seperti fenomena "*trap-zone*" dimana air terjebak di tengah timbunan, yang terkadang memerlukan solusi inovatif seperti pembuatan sumur drainase [11].

b) Stone Column

Metode *Stone Column* (kolom batu) adalah teknik perbaikan tanah yang efektif untuk tanah lunak maupun pasir lepas, yang berfungsi untuk meningkatkan daya dukung, mengurangi penurunan, dan memitigasi potensi likuifaksi [1]. Teknik ini bekerja dengan membentuk kolom-kolom vertikal dari material granular yang dipadatkan, sehingga menciptakan material komposit yang lebih kaku dan sekaligus berfungsi sebagai drainase vertikal untuk mempercepat disipasi air pori [9]. (pengembangan), terutama pada kondisi tanah yang sangat lunak [6] [3].

c) Cerucuk Bambu

Cerucuk bambu adalah metode perkuatan tanah tradisional yang efektif untuk mengatasi ketidakstabilan pada tanah lunak dengan memanfaatkan bambu sebagai material yang ringan dan kuat [15]. Metode ini sering dikombinasikan dengan matras bambu yang berfungsi untuk mendistribusikan beban timbunan secara lebih merata dan meningkatkan kekakuan sistem perkuatan secara keseluruhan . Penggunaan cerucuk terbukti mampu meningkatkan angka keamanan (*safety factor*) lereng dengan memberikan tambahan gaya tahanan geser pada bidang longsor [16]. Selain itu, metode ini menjadi alternatif yang sangat efisien untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek dibandingkan dengan metode modern seperti PVD, terutama di lokasi dengan akses terbatas untuk alat berat [17].

d) Grouting

Metode *grouting* adalah teknik perbaikan yang dilakukan dengan cara menginjeksikan material cair (seperti campuran semen) bertekanan ke dalam rongga tanah atau retakan pada struktur beton [18]. Tujuan utama dari metode ini adalah untuk mengisi pori-pori dan celah, yang setelah mengeras akan menyatukan massa tanah atau struktur menjadi satu kesatuan yang lebih solid dan stabil [18]. Penerapan *grouting* pada tanah lempung lunak terbukti secara signifikan dapat meningkatkan daya dukung tanah dasar dan mengurangi permeabilitas, sehingga efektif untuk mengatasi masalah penurunan tanah pada perkerasan jalan tol [19]. Selain untuk perbaikan tanah, teknik ini juga umum digunakan untuk memperbaiki kerusakan retak pada perkerasan kaku (*rigid pavement*) dengan lebar retakan 0,2 mm hingga 5,0 mm agar komponen beton dapat berfungsi kembali sebagaimana mestinya [20].

e) Geosintetik

Geosintetik, terutama dalam bentuk geotekstil, merupakan material modern yang umum digunakan sebagai lapis perkuatan dan separator untuk meningkatkan stabilitas konstruksi di atas tanah lunak (Bambang Siswanto et al., 2023). Sebagai perkuatan, geotekstil memberikan gaya tarik yang menambah momen penahan terhadap kelongsoran, sehingga meningkatkan faktor keamanan (*Safety Factor*) pada timbunan dan lereng [21]. Selain itu, geotekstil juga berfungsi sebagai pemisah (*separator*) yang mencegah tercampurnya material timbunan dengan tanah dasar lunak di bawahnya, sehingga menjaga stabilitas konstruksi jalan [22]. Aplikasi inovatif lainnya adalah sebagai selubung pada kolom batu atau *Geosynthetic Encased Stone Columns* (GESC), di mana geosintetik memberikan tekanan pengekang (*confinement*) untuk mencegah kegagalan *bulging* pada kolom dan secara signifikan meningkatkan daya dukung tanah, terutama pada tanah yang sangat lunak [6].

4 KESIMPULAN

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan, disimpulkan bahwa penanganan tanah lunak pada proyek-proyek infrastruktur di Indonesia memerlukan pemilihan metode perbaikan tanah yang tepat dan seringkali melibatkan kombinasi beberapa teknik untuk mencapai stabilitas yang diinginkan. Metode seperti Prefabricated Vertical Drain (PVD) dengan preloading terbukti sangat efektif untuk mempercepat waktu konsolidasi, sementara Stone Column dan variasinya seperti Geosynthetic Encased Stone Columns (GESC) andal dalam meningkatkan daya dukung dan memitigasi risiko likuifikasi. Di sisi lain, metode tradisional seperti cerucuk bambu dan penggunaan material geosintetik menawarkan alternatif yang efisien dari segi biaya, waktu, dan aplikasi di lapangan, yang menunjukkan bahwa pemilihan solusi yang optimal tidak hanya bergantung pada kondisi geoteknik tetapi juga pada faktor ekonomi dan logistik proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rezha Pratama, I., & Noer Hamdhan, I. (2024). Pemodelan 3D Pada Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Metode Stone Coloums Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Cisumdawu Seksi 6A. In *FTSP Series*.
- [2] Yapiadi, M. C., Sumarli, I., & Iskandar, D. A. (2020). EVALUASI SETTLEMENT MENGGUNAKAN SURCHARGE PRELOADING DENGAN PVD PADA PROYEK DI BANDUNG SELATAN. In *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 3, Issue 3).

- [3] Hayati, J., Syuhada, S., Shahroni, C., Teknologi Sumatera, I., Terusan Ryacudu, J., Huwi, W., Jati Agung, K., & Lampung Selatan, K. (2025). Analisis Pengaruh Kuat Tarik Geosintetik Pada Perkuatan Tanah Lunak Metode Geosynthetic Encased Stone Columns (GESC).
- [4] Gihlang Ramadhan, R., Suwarno, & Endah Mochtar, N. (2019). *Analisis Penyebab Kelongsoran Dan Alternatif Perkuatan Tanah Timbunan Ruas Jalan Tol Batang-Semarang STA 383+100-STA 383+900*.
- [5] Aulia Mudzalifah Maksum, M., & Mufti Ahmad, M. (2025). *PELAKSANAAN PEKERJAAN CEMENT DEEP MIXING (CDM) ZONA HIGH SPEED OVAL STA 2+840 – 2+980 PADA PROYEK PROVING GROUND BPLJSKB BEKASI*.
- [6] Alam Maulana, Noor Endah Mochtar, & Putu Tantri Kumalasari. (2019). *Alternatif Perencanaan Timbunan dan Perbaikan Tanah Dasar pada Jalan Tol Krian-Legundi- Bunder-Manyar (STA 12+434 s/d STA 12+684)*.
- [7] Sigit Pramono, S., & Noer Hamdhan, I. (2024). Pemodelan 3D Perbaikan Tanah Lunak dengan Pile Embankment dan Geotekstil pada Proyek Jalan Tol Bengkulu-Taba Penanjung. In *FTSP Series*.
- [8] Utami, E. T., Hamdhan, I. N., & Suwitaatmadja, K. (2019). Analisis Stabilitas pada Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 5(3), 1. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v5i3.1>
- [9] Suroso, P., Nugroho, B., Rajiv Yasmuna, M., Teknik Sipil, J., Jalan dan jembatan, R., Negeri Samarinda Jl Cipto Mangunkusumo Kampus Gunung Lipan, P., Samarinda, K., & Timur, K. (2021). *Pengaruh Perkuatan Tanah Dengan Menggunakan Stone Column Terhadap Potensi Likuifaksi (Studi Kasus Jalan Tol Manado-Bitung sta 39+250)*.
- [10] Gusenbauer, M., & Haddaway, N. R. (2020). Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? Evaluating retrieval qualities of Google Scholar, PubMed, and 26 other resources. *Research Synthesis Methods*, 11(2), 181–217. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1378>
- [11] Aini, I. A., Maulana, E. I., & Santoso, H. T. (2023). Evaluasi Metode Perbaikan Tanah Lunak dengan Preloading Kombinasi PVD-PHD pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak Paket II. *Bentang : Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 11(1), 21–36. <https://doi.org/10.33558/bentang.v11i1.4622>
- [12] Susiazti, H., Widiastuti, M., Widayati, R., & Widayati, R. (2020). *ANALISIS PENURUNAN KONSOLIDASI METODE PRELOADING DAN PREFABRICATED VERTICAL DRAIN (PVD)*.
- [13] Utami, R., Utami, E., & Hayati, J. (2022). *Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading dan Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (PVD) dengan Variasi Panjang PVD (Studi Kasus: Pembangunan Jalan Tol Indralaya-Prabumulih)*.
- [14] Refi, A., & Marsiamto, A. G. (2022). *ANALISA PERBAIKAN TANAH PADA PEMBANGUNAN JALAN TOL PADANG-SICINCIN, SUMATERA BARAT DENGAN METODE PRELOADING KOMBINASI PREFABRICATED VERTICAL DRAIN*. 4(2). <http://jurnal.ensiklopediaku.org>
- [15] Faradila, A. (2023). Studi Mekanisme Interaksi Tanah-Matras Cerucuk Bambu sebagai Perkuatan Tanah Lunak. *Buletin Profesi Insinyur*, 6(1), 7–13. <https://doi.org/10.20527/bpi.v6i1.174>
- [16] Surya Agung Widodo, B., Eko Saputro, D., Rochim, A., & Fitriyana, L. (2022). *Perbandingan Slope Protection Darurat Dengan Metode Cerucuk Bambu & Bronjong (Studi Kasus Jalan Tol Semarang ABC)*.
- [17] Matheus, P., & Hartono, D. (2024). Analisis Penggunaan Cerucuk sebagai Soil Improvement Pengganti Prefabricated Vertical Drain (PVD) untuk Mempercepat Pelaksanaan Pekerjaan. *TEKNIK*, 45(3), 12530. <https://doi.org/10.14710/teknik.v45i3.63041>
- [18] Lebang, P., & Yunianti, N. H. (2023). Stabilisasi Perbaikan Tanah Lempung di Ruas Jalan Tol Seksi IV Makassar Dengan Metode Grouting. *EMPOWERMENT: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(2), 98–110. <https://doi.org/10.35965/je.v1i2.3925>
- [19] Standyarto, A. N., Prayitno, A. Y., Prayitno, D., Kerja, S., Pembangunan Ikn, P., Pelaksanaan, B. B., Nasional, J., Timur, K., Jenderal, D., Marga, B., Pupr, K., Wahana,) P T, & Persada, P. (2023). STABILISASI LERENG DENGAN APLIKASI SOIL NAILING PADA AREA GALIAN DALAM DAN KEMIRINGAN CURAM (SLOPE STABILIZATION WITH SOIL NAILING APPLICATION IN DEEP EXCAVATION AND STEEP ELEVATION). In *Jurnal Jalan-Jembatan* (Vol. 40, Issue Desember).
- [20] Hartono, J., & Santoso, H. T. (2021). *KAJIAN KERUSAKAN WET LEAN CONCRETE & CONCRETE PAVEMENT PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL BALIKPAPAN SAMARINDA* (Vol. 17, Issue 2).

- [21] Dua Lembang, L. (2021). *ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN GEOTEKSTIL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA* (*Studi Kasus di Jalan Tol Ngawi-Kertosono Sta. 132+750*).
- [22] Bambang Siswanto, A., Wijaya, U., & Widyawati, E. (2023). PERBAIKAN TANAH LUNAK UNTUK KONSTRUKSI JALAN PADA PROYEK JALAN LINGKAR UTARA BREBES TEGAL. *Article in Journal of Civil Engineering and Technology Sciences*. <https://doi.org/10.56444/jcets.v2i3>