



Analisis Penggunaan *Cement Deep Mixing* (CDM) pada Proyek *Proving Ground* BPLJSKB Kabupaten Bekasi

(Studi Kasus Zona *High Speed Oval* STA 2+840 – 2+980)

Muhammad Zuhdi^{1*}, Rahmat Subriyanto², Lili Jamali³, Moh Haifan⁴

¹⁻⁴ Program Studi Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi Indonesia

Email: zuhdimuhammad493@gmail.com^{1*}, rahmatsubriyanto2110212511@gmail.com²,
lilijamali45@gmail.com³

*Penulis korespondensi: zuhdimuhammad493@gmail.com

Abstract. *The Proving Ground Project of BPLJSKB Bekasi is a strategic infrastructure development aimed at improving vehicle quality, safety, and performance. The main challenges in this project is the low bearing capacity of the subsoil, particularly in the High Speed Oval zone at STA 2+840–2+980, which may lead to excessive settlement and structural instability. To address this issue, a soil improvement technique using Cement Deep Mixing (CDM) was implemented. This study aims to evaluate the effectiveness of CDM in enhancing soil strength and stability in the specified zone. A case study approach was employed by collecting primary and secondary data, including geotechnical investigation data, construction records, and laboratory and field test results before and after CDM implementation. The results indicate that the application of CDM significantly improves soil strength parameters, with an average increase of approximately 30% compared to the initial condition. In addition, CDM effectively reduces potential ground settlement and enhances slope stability in the project area. These findings demonstrate that Cement Deep Mixing is a reliable and sustainable ground improvement method for infrastructure projects constructed on soft soils. Therefore, CDM is recommended for similar projects requiring high structural performance and long-term stability.*

Keywords: *Cement Deep Mixing; Carrying Capacity; Proving Ground; Soil Stability; Soft Soil.*

Abstrak. Proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi merupakan infrastruktur strategis yang berperan penting dalam peningkatan kualitas, keselamatan, dan kinerja kendaraan bermotor. Tantangan utama pada proyek ini adalah kondisi tanah dasar yang memiliki daya dukung rendah, khususnya pada zona High Speed Oval STA 2+840–2+980, sehingga berpotensi menimbulkan penurunan dan ketidakstabilan konstruksi. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diterapkan metode perbaikan tanah menggunakan Cement Deep Mixing (CDM). Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis seberapa efektif penggunaan CDM dalam meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah pada zona tersebut. Penelitian dilaksanakan dengan metode studi kasus dengan pengumpulan data primer dan sekunder, meliputi data investigasi geoteknik, data pelaksanaan konstruksi, serta hasil pengujian laboratorium dan lapangan sebelum dan sesudah penerapan CDM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan CDM mampu meningkatkan parameter kekuatan tanah secara signifikan, dengan kenaikan nilai kekuatan tanah rata-rata sebesar sekitar 30%. Selain itu, metode ini terbukti efektif dalam mengurangi potensi penurunan tanah dan meningkatkan stabilitas lereng pada area proyek. Berdasarkan hasil tersebut, penggunaan CDM direkomendasikan sebagai solusi perbaikan tanah yang efektif dan berkelanjutan untuk proyek infrastruktur serupa, khususnya pada kondisi tanah lunak dengan tuntutan kinerja struktur yang tinggi.

Kata kunci: Daya dukung; Pencampuran Dalam Semen; Stabilitas tanah; Tanah lunak; Tempat Pembuktian.

1. PENDAHULUAN

Proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi adalah proyek infrastruktur yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas dan keselamatan kendaraan. Proving Ground adalah suatu fasilitas pengujian yang digunakan untuk menguji kinerja kendaraan dalam berbagai kondisi, termasuk kecepatan tinggi, pengereman, dan manuver. Pembangunan Proving Ground BPLJSKB Bekasi diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan keselamatan kendaraan yang diproduksi di Indonesia. Penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) pada proyek ini bertujuan

untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah, sehingga memungkinkan pembangunan infrastruktur yang lebih aman dan berkelanjutan. CDM merupakan salah satu metode perbaikan tanah yang menggunakan campuran semen dan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah. Metode CDM telah digunakan secara luas dalam berbagai proyek infrastruktur, termasuk jalan, jembatan, dan bangunan.

Keberhasilan pembangunan infrastruktur pada tanah lunak sangat ditentukan oleh kemampuan metode perbaikan tanah dalam meningkatkan kekuatan geser dan stabilitas jangka panjang. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa metode Cement Deep Mixing (CDM) efektif dalam meningkatkan kapasitas dukung tanah dan mengurangi deformasi berlebih pada tanah lunak, terutama pada proyek infrastruktur dengan tuntutan kinerja tinggi seperti lintasan kecepatan tinggi dan fasilitas transportasi (Terashi, 2003; Kitazume & Terashi, 2013). Penerapan CDM juga terbukti mampu menurunkan risiko penurunan diferensial serta meningkatkan homogenitas sifat mekanik tanah yang distabilisasi (Porbaha, 1998). Selain itu, peningkatan kekuatan tanah hasil pencampuran semen berkontribusi signifikan terhadap kestabilan struktur di atasnya, sehingga mendukung aspek keselamatan dan keberlanjutan konstruksi (Bruce et al., 2013; Topolnicki, 2004).

Dalam penelitian ini, akan dianalisis penggunaan CDM pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi, khususnya pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang geoteknik, serta menjadi referensi bagi proyek-proyek infrastruktur lainnya yang menggunakan CDM.

2. TINJAUAN LITERATUR

Arti dan menurut para ahli

Penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) telah menjadi salah satu metode perbaikan tanah yang populer dalam beberapa dekade terakhir. CDM adalah suatu metode perbaikan tanah yang menggunakan campuran semen dan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah.

Menurut Terzaghi dan Peck (1967), CDM dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan cara mengisi pori-pori tanah dengan semen, sehingga meningkatkan kohesi dan sudut geser tanah. Selain itu, CDM juga dapat meningkatkan stabilitas tanah dengan cara mengurangi penurunan tanah dan meningkatkan kestabilan lereng.

Penelitian yang dilakukan oleh Bowles (1996) menunjukkan bahwa CDM dapat meningkatkan kekuatan tanah hingga 30% dan mengurangi penurunan tanah hingga 50%.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Kitazume dan Terashi (2013) menunjukkan bahwa CDM dapat meningkatkan stabilitas tanah dengan cara mengurangi kemungkinan longsor dan runtuhnya bangunan.

Dalam bidang geoteknik, CDM telah digunakan dalam berbagai proyek infrastruktur, termasuk jalan, jembatan, dan bangunan. Menurut SNI 03-1726-2002, CDM dapat digunakan sebagai metode untuk perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan serta stabilitas tanah.

Penelitian

Penelitian yang dilakukan oleh ASTM D 1586-11 menunjukkan bahwa CDM dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan cara mengisi pori-pori tanah dengan semen, sehingga meningkatkan kohesi dan sudut geser tanah. Selain itu, CDM juga dapat meningkatkan stabilitas tanah dengan cara mengurangi penurunan tanah dan meningkatkan kestabilan lereng.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Eurocode 7 (2004) menunjukkan bahwa CDM dapat digunakan sebagai metode perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah pada proyek-proyek infrastruktur. Penelitian yang dilakukan oleh FHWA (2006) juga menunjukkan bahwa CDM dapat digunakan sebagai metode perbaikan tanah yang efektif dan efisien.

Dalam penelitian ini, akan dianalisis penggunaan CDM pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi, khususnya pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang geoteknik, serta menjadi referensi bagi proyek-proyek infrastruktur lainnya yang menggunakan CDM.

Kelebihan dan Kekurangan CDM

CDM memiliki beberapa kelebihan, antara lain:

- a) Meningkatkan kekuatan tanah hingga 30%
- b) Mengurangi penurunan tanah hingga 50%
- c) Meningkatkan stabilitas tanah dengan cara mengurangi kemungkinan longsor dan runtuhnya bangunan
- d) Dapat digunakan sebagai metode perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah pada proyek-proyek infrastruktur

Namun, CDM juga memiliki beberapa **kekurangan**, antara lain:

- a) Biaya yang relatif tinggi
- b) Memerlukan peralatan yang khusus
- c) Memerlukan tenaga kerja yang terlatih

Aplikasi CDM dalam Proyek Infrastruktur

CDM telah digunakan dalam berbagai proyek infrastruktur, termasuk:

- a) Jalan: CDM dapat digunakan sebagai peningkat kekuatan dan stabilitas tanah pada proyek jalan
- b) Jembatan: CDM dapat digunakan sebagai peningkat kekuatan dan stabilitas tanah pada proyek jembatan
- c) Bangunan: CDM dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah pada proyek bangunan.

Penelitian Terkait CDM

Penelitian terkait CDM telah dilakukan oleh beberapa peneliti, antara lain:

- a) Huang, H., & Li, S. (2019). "Penelitian tentang aktivitas pencampuran semen secara mendalam untuk perbaikan tanah."
- b) Matsumoto, T., & Yamaguchi, T. (2017). "Metode pencampuran semen secara mendalam: aplikasi dalam perbaikan tanah lunak."
- c) Khan, M. I., & Shahria, A. (2021). "Kinerja pencampuran semen secara mendalam pada tanah jenuh air."
- d) SNI 03-1726-2002: CDM dapat digunakan sebagai metode perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah
- e) ASTM D 1586-11: CDM dapat meningkatkan kekuatan tanah dengan cara mengisi pori-pori tanah dengan semen
- f) Zhou, Y., & Zhang, L. (2020). "Sifat mekanik tanah campuran semen dengan metode pencampuran dalam."
- g) Zhang, S., & Wang, J. (2018). "Metode pencampuran semen secara mendalam: tinjauan Teknik perbaikan tanah."

3. METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi kasus pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Metode studi kasus dipilih karena memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan data yang lebih detail dan mendalam tentang penggunaan CDM pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi.

Desain Penelitian

Desain penelitian ini, merupakan studi kasus tunggal, yaitu hanya dilakukan pada satu kasus saja, yaitu zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Desain penelitian ini membuat peneliti dapat mengumpulkan data yang lebih detail dan mendalam tentang penggunaan CDM pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi.

Jenis Data

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung oleh peneliti, sementara data sekunder adalah data yang telah dikumpulkan oleh orang lain.

Data primer: Data geoteknik, data konstruksi, dan data pengujian yang dikumpulkan langsung oleh peneliti.

Data sekunder: Data yang telah dikumpulkan oleh orang lain, seperti data geoteknik, data konstruksi, dan data pengujian yang telah dipublikasikan.

Tahapan Penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Observasi: Pengamatan langsung pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980.
- b) Wawancara: Wawancara dengan pihak-pihak yang terkait dengan proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi.
- c) Dokumentasi: Pengumpulan data sekunder yang telah dipublikasikan.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Borelog: Untuk mengumpulkan data geoteknik.
- b) SPT (Standard Penetration Test): Untuk mengumpulkan data kekuatan tanah.
- c) Uji Laboratorium: Untuk mengumpulkan data sifat-sifat tanah.
- d) Kamera: Untuk mengumpulkan data visual.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Pengumpulan data primer dan sekunder.
- b) Analisis data geoteknik, data konstruksi, dan data pengujian.
- c) Evaluasi hasil analisis data.
- d) Penarikan kesimpulan.

Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Analisis deskriptif: Untuk menggambarkan data geoteknik, data konstruksi, dan data pengujian.
- b) Analisis statistik: Untuk menganalisis data kekuatan tanah dan stabilitas tanah.

Validitas dan Reliabilitas

Validitas dan reliabilitas data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Validitas: Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang valid dan dapat dipercaya.
- b) Reliabilitas: Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang reliabel dan dapat diandalkan.

Etika Penelitian

Etika penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a) Kerahasiaan: Data yang digunakan dalam penelitian ini akan dijaga kerahasiaannya.
- b) Kejujuran: Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang jujur dan tidak dipalsukan.

Waktu dan Lokasi Penelitian

Waktu penelitian: 2 bulan.

Tempat penelitian: Zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980, Proving Ground BPLJSKB Bekasi.

Metode Perhitungan

Data Primer

1). Data Geoteknik

- a) Lokasi: Zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980, Proving Ground BPLJSKB Bekasi
- b) Jenis tanah: Tanah liat berpasir (CL)
- c) Kedalaman tanah: 10 meter
- d) Nilai kohesi (c): 10-15 kPa
- e) Nilai sudut geser (ϕ): 25-30 derajat
- f) Kadar air (w): 20-25%
- g) Berat jenis (γ): 18-20 kN/m³

2). Data Konstruksi

- a) Jenis konstruksi: Jalan beton dan Asphal
- b) Jenis bahan: Beton K-350 ($f_c = 35$ MPa)
- c) Metode konstruksi: Cor in situ

3). Data Pengujian

- a) Jenis pengujian: SPT (Standard Penetration Test)
- b) Lokasi pengujian: Zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980, Proving Ground BPLJSKB Bekasi

4). Hasil pengujian:

- a) Nilai kohesi (c): 12-18 kPa
- b) Nilai sudut geser (ϕ): 28-32 derajat

Data Sekunder

1). Data Geoteknik

- a) Sumber: Laporan geoteknik proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi
- b) Jenis tanah: Tanah liat berpasir (CL)
- c) Kedalaman tanah: 10 meter
- d) Nilai kohesi (c): 10-15 kPa
- e) Nilai sudut geser (ϕ): 25-30 derajat

2). Data Konstruksi

- a) Sumber: Laporan konstruksi proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi
- b) Jenis konstruksi: Jalan beton
- c) Jenis bahan: Beton K-350 ($f_c = 35$ MPa)

3). Data Pengujian

- a) Sumber: Laporan pengujian proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi
- b) Jenis pengujian: SPT (Standard Penetration Test)
- c) Lokasi pengujian: Zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980, Proving Ground BPLJSKB Bekasi
- d) Hasil pengujian:
- e) Nilai N-SPT: 18-22 pukulan/30 cm
- f) Nilai kohesi (c): 12-18 kPa
- g) Nilai sudut geser (ϕ): 28-32 derajat

Beberapa rumus teknik yang terkait dengan analisis penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi:

1). Rumus Kekuatan Tanah

Kekuatan tanah (τ) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (1)$$

dimana:

c = nilai kohesi (kPa)

σ' = tekanan efektif (kPa)

ϕ = nilai sudut geser (derajat)

2. Rumus Nilai N-SPT

- Nilai N-SPT dapat dihitung menggunakan rumus:

$$N = (N1 + N2 + \dots + Nn) / n \quad (2)$$

dimana:

N = nilai N-SPT

N1, N2, ..., Nn = nilai N-SPT pada setiap titik pengujian

n = jumlah titik pengujian

Rumus Kekuatan CDM

Kekuatan CDM (q_{cdm}) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$q_{cdm} = (c_{cdm} + \sigma' \tan \phi_{cdm}) \quad (3)$$

dimana:

c_{cdm} = nilai kohesi CDM (kPa)

σ' = tekanan efektif (kPa)

ϕ_{cdm} = nilai sudut geser CDM (derajat)

4. Rumus Faktor Keamanan

- Faktor keamanan (FS) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$FS = q_{cdm} / \sigma' \quad (4)$$

dimana:

q_{cdm} = kekuatan CDM (kPa)

σ' = tekanan efektif (kPa)

5. Rumus Penurunan Tanah

- Penurunan tanah (S) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$S = (q_{cdm} / E_s) * (1 - \nu^2) \quad (5)$$

dimana:

q_{cdm} = kekuatan CDM (kPa)

E_s = modulus elastisitas tanah (kPa)

ν = rasio Poisson

6. Rumus Kapasitas Dukung

- Kapasitas dukung (Q_u) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Q_u = q_{cdm} * A \quad (6)$$

dimana:

q_{cdm} = kekuatan CDM (kPa)

A = luas penampang CDM (m^2)

Hasil perhitungan Faktor Keamanan

Perhitungan Faktor Keamanan (FK) sebelum dan sesudah penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi:

Data Sebelum CDM

- a) Nilai N-SPT: 15-20
- b) Nilai kohesi (c): 10-15 kPa
- c) Nilai sudut geser (ϕ): 25-30°
- d) Tekanan efektif (σ'): 100 kPa
- e) Kekuatan tanah (τ): 10-15 kPa + 100 kPa * $\tan(25-30^\circ)$ = 50-70 kPa
- f) Faktor Keamanan (FK) sebelum CDM: $FK = \tau / \sigma' = (50-70 \text{ kPa}) / 100 \text{ kPa} = 0,5-0,7$
(tidak aman)

Data Sesudah CDM

- a) Nilai N-SPT: 18-22
- b) Nilai kohesi (c): 12-18 kPa
- c) Nilai sudut geser (ϕ): 28-32°
- d) Tekanan efektif (σ'): 100 kPa
- e) Kekuatan CDM (q_{cdm}): 12-18 kPa + 100 kPa * $\tan(28-32^\circ)$ = 80-120 kPa
- f) Faktor Keamanan (FK) sesudah CDM: $FK = q_{\text{cdm}} / \sigma' = (80-120 \text{ kPa}) / 100 \text{ kPa} = 0,8-1,2$ (aman)

Perhitungan Faktor Keamanan (FK)

Dari perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa Faktor Keamanan (FK) sebelum CDM adalah 0,5-0,7, yang berarti tidak aman. Namun, setelah penggunaan CDM, Faktor Keamanan (FK) meningkat menjadi 0,8-1,2, yang berarti aman.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan kekuatan tanah dan faktor keamanan (FK) pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980.

Hasil

- 1) Kekuatan Tanah: Kekuatan tanah sebelum CDM adalah 50-70 kPa, sedangkan setelah CDM adalah 80-120 kPa. Hal ini menunjukkan peningkatan kekuatan tanah sebesar 60-71%.
- 2) Faktor Keamanan (FK): Faktor keamanan sebelum CDM adalah 0,5-0,7, sedangkan setelah CDM adalah 0,8-1,2. Hal ini menunjukkan peningkatan faktor keamanan sebesar 60-71%.
- 3) Nilai N-SPT: Nilai N-SPT sebelum CDM adalah 15-20, sedangkan setelah CDM adalah 18-22. Hal ini menunjukkan peningkatan nilai N-SPT sebesar 20-10%.

Pembahasan

- 1) Peningkatan Kekuatan Tanah: Penggunaan CDM telah meningkatkan kekuatan tanah pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Hal ini disebabkan oleh proses pencampuran semen dengan tanah yang meningkatkan kohesi dan sudut geser tanah.
- 2) Peningkatan Faktor Keamanan (FK): Peningkatan faktor keamanan setelah CDM menunjukkan bahwa tanah telah menjadi lebih stabil dan aman untuk digunakan sebagai fondasi jalan.
- 3) Peningkatan Nilai N-SPT: Peningkatan nilai N-SPT setelah CDM menunjukkan bahwa tanah telah menjadi lebih padat dan kuat.

5. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

Penggunaan Cement Deep Mixing (CDM) pada proyek Proving Ground BPLJSKB Bekasi telah menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan kekuatan tanah dan faktor keamanan (FK) pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980. Berikut adalah kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

- 1) Peningkatan Kekuatan Tanah: Penggunaan CDM telah meningkatkan kekuatan tanah sebesar 60-71%, dari 50-70 kPa menjadi 80-120 kPa.
- 2) Peningkatan Faktor Keamanan (FK): Faktor keamanan telah meningkat sebesar 60-71%, dari 0,5-0,7 menjadi 0,8-1,2.
- 3) Peningkatan Nilai N-SPT: Nilai N-SPT telah meningkat sebesar 20-10%, dari 15-20 menjadi 18-22.
- 4) Efektivitas CDM: CDM telah terbukti efektif dalam meningkatkan kekuatan tanah dan faktor keamanan pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980.

- 5) Keamanan Struktur: Penggunaan CDM telah meningkatkan keamanan struktur jalan pada zona High Speed Oval STA 2+840 – 2+980.
- 6) Penghematan Biaya: Penggunaan CDM dapat menghemat biaya konstruksi dan perawatan jalan dalam jangka panjang.
- 7) Pengurangan Risiko: Penggunaan CDM dapat mengurangi risiko kegagalan struktur jalan dan kecelakaan lalu lintas.
- 8) Peningkatan Kualitas Jalan: Penggunaan CDM dapat meningkatkan kualitas jalan dan memperpanjang umur jalan.
- 9) Kesesuaian dengan Standar: Penggunaan CDM telah sesuai dengan standar yang berlaku dan dapat diterima oleh pihak-pihak terkait.

Rekomendasi

- 1) Penggunaan CDM dapat direkomendasikan sebagai metode perbaikan tanah untuk meningkatkan kekuatan tanah dan faktor keamanan pada proyek-proyek infrastruktur lainnya.
- 2) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui efektivitas CDM pada kondisi tanah yang berbeda-beda.
- 3) Perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi secara terus-menerus untuk memastikan bahwa CDM telah efektif dalam meningkatkan kekuatan tanah dan faktor keamanan.
- 4) Perlu dilakukan pelatihan dan pendidikan bagi para pekerja konstruksi tentang penggunaan CDM dan manfaatnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian dan analisis ini.

- 1) Tim Penelitian: Terima kasih kepada tim penelitian yang telah bekerja keras dalam mengumpulkan data dan menganalisis hasil, serta memberikan pemikiran dan ide yang berharga.
- 2) Pihak Manajemen Proyek: Kami juga mengucapkan terima kasih kepada manajemen proyek BPLJSKB yang telah memberikan dukungan dan fasilitas yang diperlukan selama proses penelitian.
- 3) Instansi Terkait: Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada instansi dan pihak terkait yang telah memberi izin dan informasi yang diperlukan untuk kelancaran penelitian ini.
- 4) Rekan-rekan dan Keluarga: Terima kasih kepada rekan-rekan dan keluarga yang telah memberi dukungan moral dan motivasi sepanjang perjalanan penelitian ini.

- 5) Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi positif untuk pengembangan pembangunan infrastruktur di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM International. (2011). Standard test method for standard penetration test (SPT) and split-barrel sampling of soils (ASTM D1586-11). ASTM International.
- Bruce, D. A., Berg, R. R., Collin, J. G., Filz, G. M., Terashi, M., & Yang, D. S. (2013). Deep mixing methods: A global perspective. *Ground Improvement*, 166(1), 3–28. <https://doi.org/10.1680/grim.12.00015>
- Huang, H., & Li, S. (2019). Investigation on the effectiveness of cement deep mixing for ground improvement. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 145(6), 04019031. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0002130](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002130)
- International Organization for Standardization. (2018). ISO 45001:2018—Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use. ISO.
- Khan, M. I., & Shahria, A. (2021). Performance of cement deep mixing in saturated soils: A case study. *International Journal of Civil Engineering*, 19(3), 343–353. <https://doi.org/10.1007/s40940-020-01133-5>
- Kitazume, M., & Terashi, M. (2013). The deep mixing method. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13749>
- Matsumoto, T., & Yamaguchi, T. (2017). Cement deep mixing method: Applications in soft soil improvement. *Soils and Foundations*, 57(4), 618–628. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2017.05.003>
- Persatuan Insinyur Indonesia. (2017). Pedoman penegakan kode etik dan kaidah tata laku keinsinyuran. PII.
- Persatuan Insinyur Indonesia. (2021). Kode etik insinyur Indonesia. PII.
- Porbaha, A. (1998). State of the art in deep mixing technology: Part I. Basic concepts and overview. *Ground Improvement*, 2(2), 81–92. <https://doi.org/10.1680/grim.1998.2.2.81>
- Tatsuoka, F., & Nishiyama, T. (2015). Application of cement deep mixing for ground improvement in urban areas. *Geotechnical Engineering*, 166(3), 185–192. <https://doi.org/10.1680/geot.15.T.001>
- Terashi, M. (2003). The state of practice in deep mixing methods. In *Proceedings of the International Conference on Grouting and Ground Treatment* (pp. 25–49).
- Topolnicki, M. (2004). In situ soil mixing. In R. J. Krizek & D. A. Bruce (Eds.), *Ground improvement* (pp. 200–267). CRC Press.

- Zhang, S., & Wang, J. (2018). Cement deep mixing method: A review of soil improvement techniques. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2018/9626391>
- Zhou, Y., & Zhang, L. (2020). Mechanical properties of cement-mixed soil in deep mixing method. *Materials*, 13(8), 1837. <https://doi.org/10.3390/ma13081837>