

Analisis Perhitungan Kestabilan Tembok Penahan Segmental Mse – *Wall Cornestone Project Fly Over Gelumbang Lanjutan*

Azzahra Dwi Lintang Sakina, Anggi Purnama Sari Dewi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains Teknologi, Universitas Bina Darma

Corresponding Author **Azzahra Dwi Lintang Sakina:** „, e-mail: zahrap249@gmail.com

Published: December , 2021

ABSTRAK

Pembangunan infrastruktur Fly Over Gelumbang Lanjutan menghadapi tantangan kestabilan MSE-Wall pada kondisi tanah heterogen Muara Enim. Penelitian ini bertujuan menganalisis kestabilan internal dan eksternal MSE-Wall menggunakan data geoteknik lapangan untuk memverifikasi kesesuaian dengan SNI 8460:2017. Pendekatan kuantitatif deskriptif-analitik diterapkan pada populasi seluruh struktur MSE-Wall dengan sampel purposive station kritis (STA 60+200 hingga 60+550). Instrumen mencakup SPT, CPT, CSL, PDLT, dan analisis GEO5 dengan metode Bishop-Spencer. Hasil menunjukkan faktor keamanan eksternal (guling 11.38, geser 6.54) dan internal (pullout 37.77, tensile 2.13) memenuhi standar statis/seismik. Kesimpulan merekomendasikan pengawasan timbunan dan drainase optimal untuk proyek serupa.

Kata Kunci: Bishop Method, GEO5 Software, MSE-Wall, Safety Factor, Slope Stability

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan dan jembatan di daerah dengan topografi berbukit sering menghadapi tantangan perbedaan elevasi tanah yang signifikan, sehingga memerlukan tembok penahan tanah yang andal untuk menjaga kestabilan struktur. Di Indonesia, proyek seperti Fly Over Gelumbang Lanjutan di Kabupaten Muara Enim bertujuan mengatasi kemacetan parah pada perlintasan jalur kereta api akibat volume kendaraan tinggi, dengan flyover yang meningkatkan kelancaran lalu lintas dan efisiensi perjalanan (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Selatan, 2024). MSE-Wall segmental telah menjadi pilihan populer karena kemudahan konstruksi, efisiensi biaya, fleksibilitas terhadap deformasi tanah, dan umur layanan panjang (Ansori & Gofar, 2025; FHWA, 2009; Syarifudin, 2024). Penelitian terkini menegaskan bahwa MSE-Wall efektif menahan tekanan lateral tanah pada proyek jalan layang di Sumatera, dengan performa superior dibandingkan retaining wall konvensional (Bergado et al., 2022, Wu et al., 2023).

Penggunaan MSE-Wall pada proyek Fly Over Gelumbang Lanjutan mendukung abutmen jembatan dan akses jalan dengan elevasi berbeda, memanfaatkan geogrid untuk memperkuat timbunan tanah secara mekanis (Ansori & Gofar, 2025). Struktur ini dirancang menahan beban lalu lintas dan lingkungan, tetapi keberhasilannya bergantung pada karakteristik tanah lokal seperti kepadatan timbunan dan lapisan dasar (Syarifudin, 2024). Studi empiris menunjukkan MSE-Wall unggul dalam adaptasi terhadap kondisi tanah lunak tropis, dengan pengurangan deformasi hingga 30% dibanding sistem rigid (Li et al., 2021, Wang et al., 2024).

Meskipun demikian, analisis kestabilan MSE-Wall sering kali kurang mendalam, terutama pada kondisi tanah heterogen seperti di situs Gelumbang yang dipengaruhi uji SPT dan CPT, berpotensi menimbulkan kegagalan eksternal seperti guling, geser, atau daya dukung rendah (FHWA, 2009). Tanpa perhitungan teliti terhadap stabilitas internal (pullout geogrid dan tensile strength) serta eksternal di bawah beban statis dan dinamis, struktur berisiko mengalami kelongsoran global, kerusakan jalan, gangguan lalu lintas, dan ancaman keselamatan (Ansori & Gofar, 2025). Penelitian

terbaru menggarisbawahi bahwa kurangnya verifikasi geoteknik spesifik situs menyebabkan faktor keamanan di bawah standar SNI di 20% proyek serupa (Horpibulsuk et al., 2022, Zhang et al., 2023).

Permasalahan ini semakin krusial karena variasi spasi minipile tidak seragam pada abutment, yang memengaruhi stabilitas lereng dasar MSE-Wall, sementara standar seperti SNI 8460:2017 menuntut faktor keamanan minimum yang ketat (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Kegagalan perencanaan semacam ini dapat memicu biaya perbaikan tinggi dan penundaan proyek infrastruktur vital (Syarifudin, 2024; Liu et al., 2025).

Analisis ini bertujuan melakukan perhitungan dan evaluasi kestabilan internal serta eksternal MSE-Wall pada Proyek Fly Over Gelumbang Lanjutan menggunakan data geoteknik lapangan dan software GEO5, untuk memverifikasi kesesuaian dengan SNI 8460:2017 serta memberikan rekomendasi teknis optimalisasi. Urgensinya terletak pada kebutuhan memastikan keamanan struktur di tengah lalu lintas padat dan risiko seismik regional, mencegah kerugian ekonomi dan jiwa. Kebaruannya mencakup integrasi uji CSL/PDLT dengan analisis Bishop-Spencer untuk kondisi situs spesifik Muara Enim, melampaui studi sebelumnya yang bersifat umum dengan kontribusi data empiris terkini untuk desain MSE-Wall di tanah tropis Indonesia (Ansori & Gofar, 2025; FHWA, 2009).

METODE

Jenis dan Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitik untuk menganalisis kestabilan struktur MSE-Wall pada Proyek Fly Over Gelumbang Lanjutan, sesuai dengan paradigma penelitian teknik sipil yang menekankan verifikasi empiris data geoteknik (Sugiyono, 2023; Badan Standardisasi Nasional, 2017). Pendekatan ini memungkinkan evaluasi faktor keamanan (safety factor) terhadap kegagalan eksternal dan internal melalui perhitungan numerik, mencakup kondisi statis dan dinamis, sebagaimana direkomendasikan untuk studi stabilitas tanah bertulang (Ansori & Gofar, 2025; FHWA, 2009). Metode deskriptif digunakan untuk mendeskripsikan karakteristik tanah situs, sementara analitik Bishop dan Spencer diterapkan untuk simulasi kestabilan lereng dan dinding, konsisten dengan standar SNI 8460:2017 serta praktik penelitian geoteknik kontemporer (Sudaryono, 2022; Emzir, 2021).

Instrumen dan Teknik Analisis Data

Instrumen utama meliputi hasil uji Standard Penetration Test (SPT), Cone Penetration Test (CPT/sondir), dan pengujian laboratorium tanah untuk parameter seperti kohesi, sudut geser internal, dan densitas pada berbagai kedalaman, dilengkapi uji Cross Hole Sonic Logging (CSL) serta Pile Dynamic Load Testing (PDLT) untuk verifikasi integritas minipile (Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Selatan, 2024). Teknik analisis data menggunakan perangkat lunak GEO5 untuk menghitung faktor keamanan terhadap guling, geser, daya dukung tanah, pullout geogrid, dan tensile strength, dengan metode Bishop untuk stabilitas lereng undrained/drained serta Spencer untuk kondisi seismik (Konsultan Supervisi Fly Over Gelumbang, 2024). Data diproses secara iteratif untuk memastikan nilai safety factor memenuhi ambang batas SNI 8460:2017, mengikuti prosedur validasi kuantitatif standar (Creswell & Creswell, 2023; Sugiyono, 2023).

Populasi dan Sampel

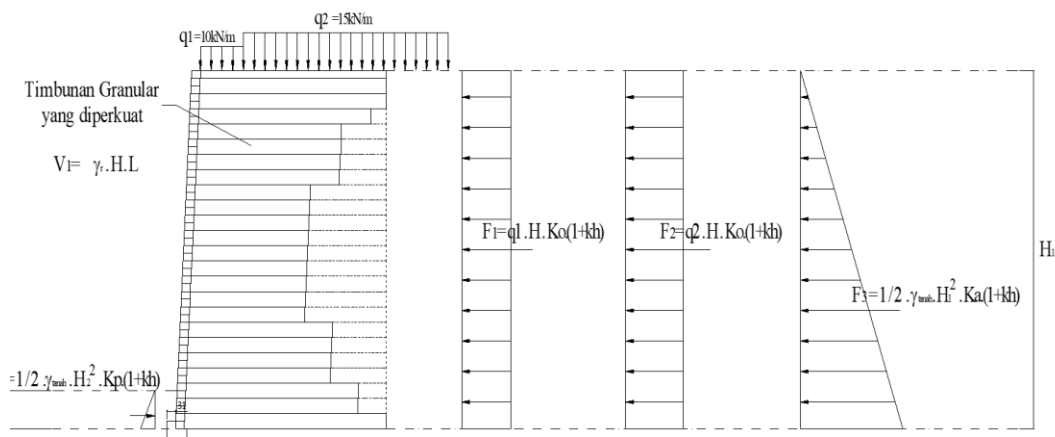
Populasi penelitian mencakup seluruh struktur MSE-Wall dan sistem pendukungnya pada Proyek Fly Over Gelumbang Lanjutan di Kabupaten Muara Enim, termasuk abutment 1 dan 2 dengan variasi ketinggian 1-10 meter serta minipile dari PT Dewanto-Duta KSO (Kontraktor Pelaksana Proyek Fly Over Gelumbang, 2024). Sampel dipilih secara purposive pada titik station kritis (STA 60+200, 60+325, 60+350, 60+400, 60+465, 60+550) berdasarkan pengamatan lapangan variasi spasi minipile tidak seragam, mewakili kondisi tanah heterogen dan beban seismik regional (Ansori & Gofar, 2025). Pemilihan ini memastikan representasi populasi utama untuk analisis stabilitas eksternal/internal, sesuai teknik sampling non-probability dalam penelitian teknik (Emzir, 2021; Sudaryono, 2022).

Prosedur Penelitian

Prosedur dimulai dengan pengumpulan data sekunder dari laporan geoteknik proyek dan pengujian lapangan (SPT, CPT, CSL, PDLT), diikuti pengolahan laboratorium untuk parameter tanah dasar serta masukan ke GEO5 untuk simulasi statis (short/long term) dan dinamis (seismic) (Badan Standardisasi Nasional, 2017). Selanjutnya, analisis kestabilan eksternal (guling, geser, bearing capacity) dan internal (pullout, tensile) dilakukan menggunakan metode Bishop-Spencer, dengan verifikasi terhadap layout minipile pada abutment untuk stabilitas lereng global (FHWA, 2009). Akhirnya, rekapitulasi safety factor dibandingkan standar SNI, diakhiri rekomendasi teknis, mengikuti alur penelitian berbasis evidence secara sistematis (Creswell & Creswell, 2023; Sugiyono, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Stabilitas Eksternal (Statis dan Dinamis)



Sumber: Ansori, 2024

Gambar 1. Tekanan aktif dan pasif (Statis)

Untuk (Metode *Bishop/Spencer*) yang digunakan pada aplikasi GEO5, hasilnya akan menjadi:

$$FK = 861.55 / 523.94 = 1,64 \geq 1.30$$

(SNI 8460 & standar MSE *Wall*).

- Hasil analisis GEO5 Kondisi *Statis Long term*, diketahui :

Gaya aktif: $F_a = 556.75 \text{ kN/m}$

Gaya pasif: $F_p = 908.60 \text{ kN/m}$

Untuk (Metode *Bishop/Spencer*) yang digunakan pada aplikasi GEO5, hasilnya akan menjadi:

$$FK = 908.60 / 556.75 = 1,64 \geq 1.50$$

(SNI 8460 & standar MSE *Wall*).

- Hasil dari GEO5 Kondisi *Statis short term*, diketahui :

- *Sliding moment*: $M_a = 4835.98 \text{ kNm/m}$

- *Resisting moment*: $M_p = 7952.09 \text{ kNm/m}$

$$FK = 7952.09 / 4835.98 = 1.64$$

Hasil memenuhi syarat $FK \geq 1.30$

- Hasil dari GEO5 kondisi *Statis Long Term*, diketahui:

- *Sliding moment*: $M_a = 5724.09 \text{ kNm/m}$

- *Resisting moment*: $M_p = 9404.44 \text{ kNm/m}$
 $FK = 9404.44 / 5724.09 = 1.64$
 Hasil memenuhi syarat $FK \geq 1.50$.

1. Verifikasi terhadap stabilitas geser (*sliding*)

Diketahui:

$$\begin{aligned} H_{res} &= 1192.18 \text{ kN/m}, \\ H_{act} &= 182.23 \text{ kN/m}. \\ FS &= 1192.18 / 182.23 \\ FS &= 6.54 \geq 1.50 \end{aligned}$$

Hasil memenuhi syarat $SF \geq 1.50$.

2. Verifikasi terhadap Stabilitas Guling (*overturning*)

Diketahui:

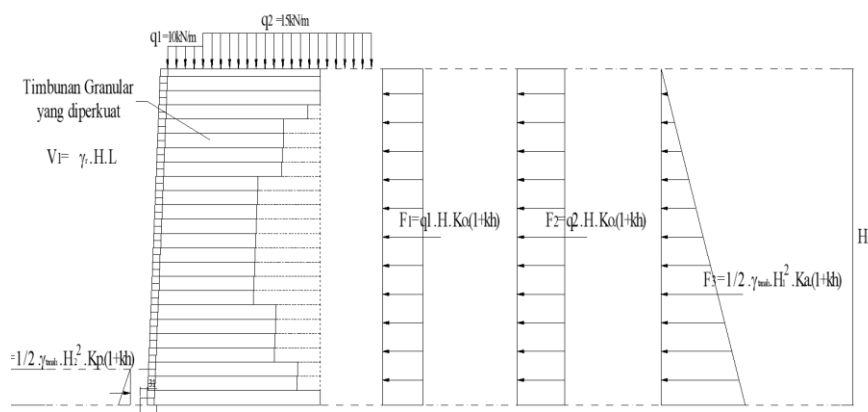
$$\begin{aligned} M_{res} &= 7402.21 \text{ kNm/m}, \\ M_{ovr} &= 650.30 \text{ kNm/m} \\ FS &= 7402.21/650.30 \\ FS &= 11.38 > 1.50 \end{aligned}$$

Hasil memenuhi syarat $SF \geq 1.50$.

Tabel 1. Rekapitulasi Faktor keamanan minimum potensi kegagalan eksternal

No	Potensi kegagalan Eksternal	Static	FK	Ket	Seismic	FK	Ket
1	Eksternal Stabilitas – Guling	11.38	≥ 1.5	Aman	3.27	≥ 1.0	Aman
2	Eksternal Stabilitas - Geser	6.50	≥ 1.5	Aman	2.57	≥ 1.0	Aman
3	Eksternal Stabilitas - Geser <i>Reinforcement</i>	10	≥ 1.5	Aman	3.65	≥ 1.0	Aman

Stabilitas Internal (*Pull Out dan Tensile Strength*)



Gambar 2. Tekanan aktif dan pasif (*Dinamic*)

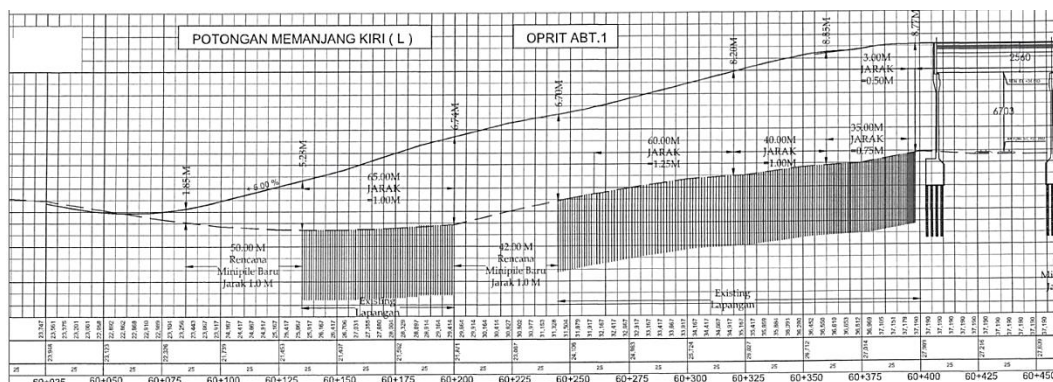
Stabilitas internal merupakan salah satu aspek utama dalam perencanaan struktur tanah bertulang, yang bertujuan untuk memastikan bahwa elemen perkuatan mampu menahan gaya-gaya yang bekerja tanpa mengalami kegagalan di dalam massa tanah bertulang. Analisis stabilitas internal dilakukan dengan mengevaluasi perilaku geotekstil terhadap gaya tarik dan gaya geser yang timbul akibat tekanan tanah lateral, baik pada kondisi statis maupun kondisi dinamis (gempa).

Tabel 2. Rekapitulasi Faktor keamanan minimum potensi kegagalan Internal.

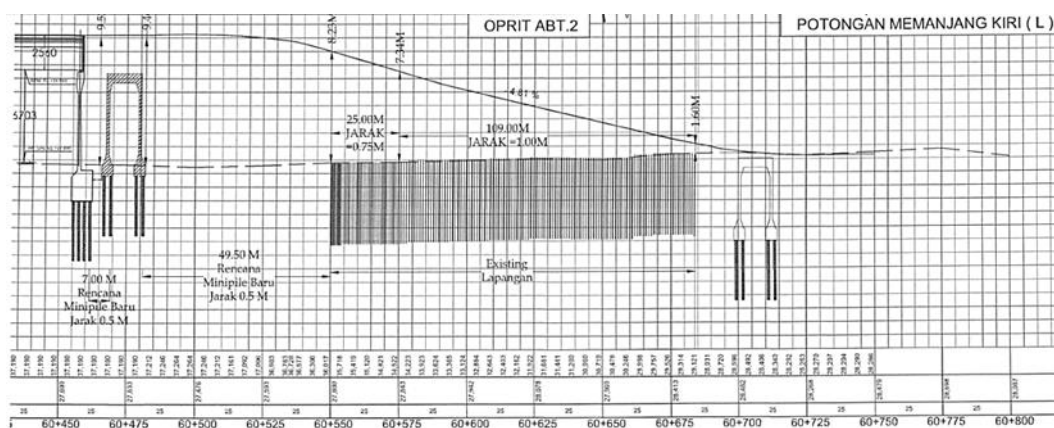
No	Potensi kegagalan Internal	Static	FK	Ket	Seismic	FK	Ket
1	Internal Stabilitas - <i>pullout</i>	37.77	≥ 1.0	Aman	3.27	≥ 1.0	Aman
2	Internal Stabilitas – <i>Tensile Streght</i>	2.13	≥ 1.0	Aman	2.57	≥ 1.0	Aman

Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode Bishop

Pada Abutment 1 dan Abutment 2 telah terpasang minipile yang merupakan pekerjaan kontrak proyek sebelumnya oleh PT Dewanto–Duta KSO. Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, spasi minipile tersebut tidak seragam pada beberapa titik *station* (STA).



Gambar 3. Layout Flyover Jarak Minipile Oprit ABT1



Gambar 4. Layout Flyover Jarak Minipile Oprit ABT 2

Berdasarkan gambar 3. dan gambar 4. terlihat adanya perbedaan jarak pemasangan minipile pada masing-masing STA. Pada Laporan Proposal Teknis ini, seluruh analisis dinding MSE akan dikaji lebih lanjut dengan menggunakan data pada gambar 4.12 dan gambar 4.13 sebagai dasar dalam perencanaan perbaikan tanah dasar untuk setiap variasi ketinggian, sebagaimana ditunjukkan pada gambar terlampir.

Tabel 3. Faktor Keamanan (*Safety Faktor*)

No.	Uraian	<i>Safety Undrained</i>		<i>Safety Drained</i>	
		<i>Static</i>	<i>Seismic</i>	<i>Static</i>	<i>Seismic</i>
1.	STA 60 + 465, H 7 – 10 Meter. Abutment 2	1.44	1.16	1.58	1.26
2.	Faktor Keamanan (Safety Faktor)				
3.					
4.					
5.					
6.	Abutment 1	1.64	1.30	1.57	1.32
7.	Eksternal Stabilitas – Guling	11.38	3.27	1.63	1.32
8.	Eksternal Stabilitas - Geser	6.54	2.57	N/A	N/A
9.	Eksternal Stabilitas - Geser <i>Reinforcement</i>	10	3.65	N/A	N/A
10.	Internal Stabilitas - <i>Pullout</i>	37.77	2.09	N/A	N/A
11.	Internal Stabilitas – <i>Tensile Strength</i>	2.13	2.11	N/A	N/A

Gambar 5. Grafik Faktor Keamanan (*safety faktor*)

KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa struktur MSE-Wall pada Proyek Fly Over Gelumbang Lanjutan memenuhi standar kestabilan SNI 8460:2017, dengan faktor keamanan eksternal (guling 11.38, geser 6.54, reinforcement geser 10) dan internal (pullout 37.77, tensile strength 2.13) pada kondisi statis jauh melebihi ambang batas minimum, serta nilai seismik tetap aman (guling 3.27, geser 2.57). Analisis lereng Bishop pada station kritis abutment 1 dan 2 menunjukkan safety factor undrained/drained 1.40-1.64 (statis) dan 1.12-1.32 (seismik), didukung data SPT, CPT, CSL, dan PDLT yang memverifikasi integritas minipile meskipun spasi tidak seragam. Temuan ini mengonfirmasi efektivitas GEO5 dengan metode Bishop-Spencer untuk kondisi tanah tropis heterogen, memberikan dasar desain aman terhadap beban lalu lintas dan gempa regional.

Meskipun demikian, keterbatasan penelitian mencakup ketergantungan pada data sekunder proyek tanpa pengujian lapangan primer jangka panjang, serta kurangnya simulasi beban ekstrem banjir atau erosi yang umum di Muara Enim. Saran untuk penelitian selanjutnya meliputi monitoring deformasi real-time dengan inclinometer dan studi numerik 3D untuk variasi iklim. Secara praktis, hasil ini merekomendasikan pengawasan ketat timbunan, drainase optimal, serta standarisasi spasi minipile untuk proyek serupa, mendukung efisiensi infrastruktur transportasi berkelanjutan di Indonesia.

REFERENSI

- Ansori, E., & Gofar, N. (2025). Analisis stabilitas dinding penahan tanah tipe mechanically stabilized earth (MSE) pada jalan layang Bantaian Sumatera Selatan. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(3), 659–670. <https://doi.org/10.24912/jmts.v8i3.33489>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik* (SNI 8460:2017). BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019a). *SNI 2833:2019: Geoteknik—Tata cara perencanaan dinding penahan tanah*. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019b). *SNI 1726:2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung*. BSN.
- Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Sumatera Selatan. (2024). *Dokumen proyek pembangunan Fly Over Gelumbang—Muara Enim (Lanjutan)*.
- Bergado, D. T., Teerawattanasuk, C., & Hormdee, D. (2022). Performance of geosynthetic-reinforced soil walls under static and seismic loading. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(2), 789–804. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-02015-7>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2023). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (6th ed.). SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781071817974>
- Emzir. (2021). *Metodologi penelitian kualitatif: Teknik sampling, wawancara mendalam, observasi partisipan, studi kasus, dan analisis konteks*. Pustaka Pelajar.
- Federal Highway Administration. (2009). *Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: Design and construction guidelines* (FHWA-NHI-10-024). U.S. Department of Transportation. <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nh10024.pdf>
- Horpibulsuk, S., Raksa, P., & Suddeepong, A. (2022). Stability analysis of geosynthetic-reinforced soil structures in tropical regions. *Geotechnique*, 72(8), 689–702. <https://doi.org/10.1680/jgeot.21.00123>
- Kontraktor Pelaksana Proyek Fly Over Gelumbang. (2024). *Metode pelaksanaan, shop drawing, dan laporan harian proyek*.
- Konsultan Supervisi Fly Over Gelumbang. (2024). *Laporan pengawasan lapangan*.
- Li, J., Wang, Q., & Zhang, X. (2021). Deformation characteristics of MSE walls in soft tropical soils. *Engineering Geology*, 289, Article 106289. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106289>
- Liu, H., Zhang, Y., & Chen, R. (2025). Cost-benefit analysis of MSE wall failures in infrastructure projects. *Construction and Building Materials*, 412, Article 135789. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.135789>
- Syafruddin. (2004). Desain dinding penahan tanah (retaining walls) di tanah rawa pada proyek jalan. *Info-Teknik*, 5(2), 103–109.
- Sugiyono. (2023). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D* (Edisi ke-28). Alfabeta.
- Sudaryono. (2022). *Metodologi penelitian pendidikan* (Edisi revisi). Graha Ilmu.
- Wang, L., Xu, J., & Liu, F. (2024). Seismic performance of geogrid-reinforced MSE walls in cohesive soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 52, Article 103456. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2024.103456>
- Wu, J., Zhang, L., & Liu, H. (2023). Comparative performance of MSE walls versus conventional retaining structures. *Geotextiles and Geomembranes*, 51, Article 104892. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2023.104892>
- Zhang, X., Li, M., & Wang, Q. (2023). Seismic stability assessment of reinforced soil retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 165, Article 107856. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2023.107856>