

Pengendalian Muka Air Tanah Menggunakan *Vacuum Drain* Terhadap Stabilitas Lereng Galian

ROBIN SATRIO HENDRAYANTO¹, INDRA NOER HAMDHAN²

1. Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
 2. Dosen, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)
- Email: robin.satrio@mhs.itenas.ac.id

ABSTRAK

Muka air tanah yang tinggi kerap membatasi stabilitas lereng galian karena menaikkan tekanan pori dan menurunkan tegangan efektif. Kajian ini menilai efektivitas vacuum drain sedalam 30 meter sebagai strategi pengendalian muka air tanah untuk meningkatkan faktor keamanan pada galian bertahap. Pemodelan dilakukan secara numerik dengan PLAXIS dua dimensi (model Mohr-Coulomb), tahapan konstruksi direpresentasikan bertahap, dan kinerja dinilai melalui prosedur reduksi ϕ - c terhadap kriteria desain yang berlaku. Hasil menunjukkan kondisi tanpa pengendalian tidak konsisten memenuhi batas rancangan, sedangkan penerapan vacuum drain menghasilkan peningkatan faktor keamanan yang merata pada seluruh tahapan, menyeimbangkan perbedaan kinerja antar sisi lereng. Secara mekanistik, perbaikan terkait penurunan tekanan air pori yang menaikkan tegangan efektif dan kapasitas geser pada bidang gelincir kritis. Metode ini direkomendasikan untuk lokasi serupa dengan pengendalian mutu pemasangan dan pemantauan piezometrik yang tertib; batasan jangka pendek dan tanpa beban gempa disarankan diuji lanjut.

Kata kunci: *Vacuum Drain, Pengendalian Muka Air Tanah, Stabilitas Lereng, faktor keamanan.*

1. PENDAHULUAN

Stabilitas lereng galian sangat dipengaruhi oleh kondisi muka air tanah. Pada muka air yang tinggi, tekanan air pori meningkat, tegangan efektif menurun, kekuatan geser berkurang, dan risiko ketidakstabilan bertambah. Pada tanah jenuh berpermeabilitas rendah, metode drainase berbasis aliran gravitasi kerap tidak memadai. *Vacuum drain (VD)* menawarkan pengendalian yang lebih efektif melalui penerapan tekanan negatif untuk mempercepat disipasi tekanan air pori dan konsolidasi. Artikel ini menelaah pengaruh *VD* terhadap stabilitas lereng galian melalui analisis numerik metode elemen hingga dengan konstruksi bertahap, dengan variabel utama kedalaman *vacuum drain*. Indikator kinerja yang dikaji meliputi penurunan muka air tanah, respons tekanan air pori, dan faktor keamanan. Hasil yang diharapkan ialah dasar teknis yang ringkas dan aplikatif bagi perancangan serta pelaksanaan *VD* pada pekerjaan galian.

2. METODOLOGI

Penelitian ini membandingkan kondisi *eksisting* (tanpa pengendalian muka air) dan intervensi *Vacuum Drain (VD)* 30 m untuk meningkatkan stabilitas lereng galian. Pemodelan dilakukan di PLAXIS 2D (*plane strain*) dengan *Mohr–Coulomb*, alas model di-fix, sisi vertikal roller, dan kondisi hidrostatis awal mengikuti elevasi muka air tanah. Skenario A (*eksisting*) dan B (*VD* 30 m) dianalisis melalui galian bertahap, di mana *VD* direpresentasikan sebagai elemen *drain* atau head terkontrol untuk mendisipasikan tekanan pori. *Factor of Safety (FK)* dihitung memakai ϕ - c *reduction* pada lereng kiri dan kanan (*short term*, tanpa gempa), dengan kriteria $FK \geq 1,50$. Hasil direkap sebagai kurva perbandingan FK: *Eksisting* vs *Vacuum Drain* 30 m, disertai pemeriksaan sensitivitas ringkas (*mesh* lokal dan k) guna memastikan konsistensi numerik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis menilai efektivitas pengendalian muka air tanah untuk meningkatkan faktor keamanan (FK) lereng galian melalui perbandingan kondisi *eksisting* (tanpa intervensi) dan penerapan *Vacuum Drain (VD)* hingga kedalaman 30 m. Kinerja dinilai menggunakan FK hasil ϕ - c *reduction* dengan acuan kelayakan $FK \geq 1,50$ untuk kondisi operasi sesuai praktik perancangan geoteknik atau SNI. Pada kondisi *eksisting*, rentang FK berada pada 1,29–1,76, menunjukkan stabilitas yang belum konsisten memenuhi kriteria desain pada seluruh tahapan galian yang dapat dilihat pada **Tabel 1**, hal ini mengindikasikan kebutuhan intervensi penurunan tekanan pori agar tegangan efektif meningkat dan mobilisasi kekuatan geser lebih optimal.

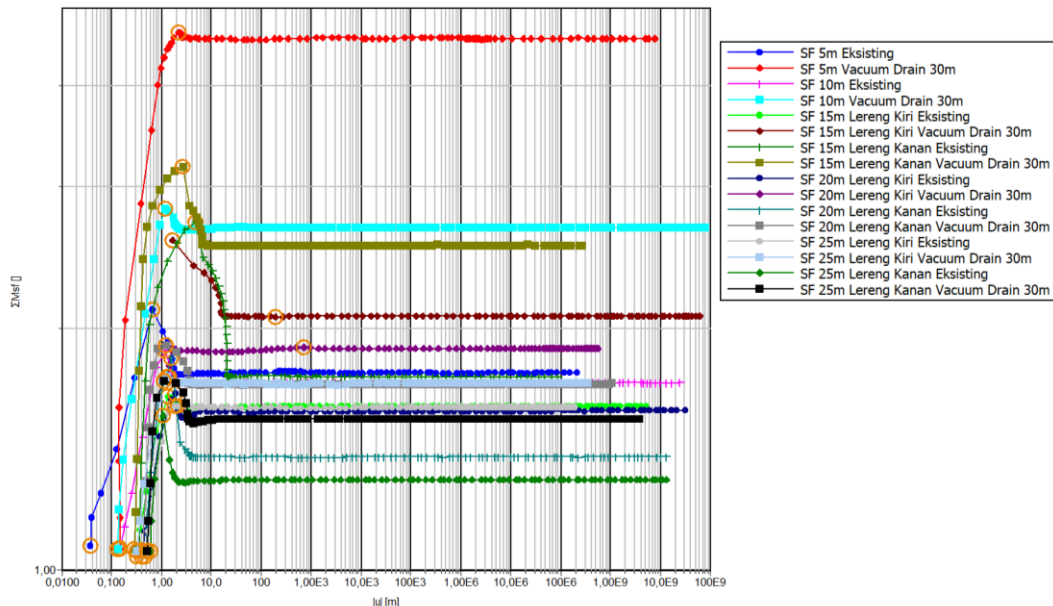
Penerapan *VD* 30 m menunjukkan peningkatan FK yang konsisten pada seluruh tahapan galian yang dapat dilihat pada **Gambar 1**. Pada kedalaman 5 m, FK sisi kiri $\approx 4,50$, jauh melampaui kondisi tanpa pengendalian, pada 10–15 m, FK rata-rata 1,90–2,40 dan tergolong stabil, sedangkan pada 20–25 m, FK sisi kiri 1,50–1,70, dan pada 25 m FK sisi kanan $\approx 1,543$. Seluruh nilai tersebut berada pada atau di atas ambang kelayakan desain ($FK \geq 1,50$). Secara keseluruhan, *VD* 30 m efektif menurunkan tekanan air pori, meningkatkan tegangan efektif, dan memperbesar cadangan kekuatan geser sehingga menjamin kestabilan lereng pada tahapan galian yang dikaji.

Dengan demikian, dibandingkan kondisi *eksisting*, pemasangan *vacuum drain* sedalam 30 m terbukti efektif untuk mencapai dan mempertahankan faktor keamanan ($FK \geq 1,50$) pada seluruh tahapan galian yang dianalisis. Metode ini direkomendasikan sebagai opsi pengendalian muka air tanah pada lokasi dengan karakteristik serupa, dengan ketentuan pelaksanaan lapangan dikendalikan secara ketat dan respons hidrolik (*piezometrik*) dipantau secara berkala guna menjamin konsistensi kinerja sepanjang masa konstruksi.

Tabel 1. Perbandingan Faktor Keamanan (FK) per Tahap Galian: Eksisting vs Vacuum Drain 30 m

Tahap Galian (m)	FK Kiri (Eksisting)	FK Kanan (Eksisting)	FK Kiri (VD 30 m)	FK Kanan (VD 30 m)
5	1,761	-	4,582	-

10	1,711	-	2,669	-
15	1,598	1,738	2,072	2,535
20	1,578	1,383	1,887	1,706
25	1,592	1,297	1,707	1,543



Gambar 1. Kurva FS per Tahap Galian: Eksisting vs Vacuum Drain 30 m

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi stabilitas lereng pada galian bertahap, dapat disimpulkan bahwa pemasangan vacuum drain hingga kedalaman 30 m efektif meningkatkan faktor keamanan (FK) dibandingkan kondisi tanpa pengendalian muka air tanah. Nilai FK pada tahap awal-menengah menunjukkan kenaikan paling signifikan, sementara pada tahap terdalam tetap berada pada atau mendekati ambang desain $FK \geq 1,50$, sehingga keseluruhan tahapan menjadi lebih seragam antar-sisi lereng. Peningkatan tersebut konsisten dengan berkurangnya tekanan air pori serta naiknya tegangan efektif yang menambah kapasitas geser tanah di sepanjang bidang gelincir kritis, tanpa memerlukan perubahan geometri galian. Dengan mempertimbangkan performa tersebut, vacuum drain 30 m layak direkomendasikan sebagai strategi pengendalian muka air tanah pada lokasi dengan karakteristik serupa, dengan prasyarat pengendalian mutu pemasangan yang ketat dan monitoring piezometrik berkala untuk memastikan respons hidraulik tercapai sesuai rancangan. Penerapan vacuum drain 30 m telah memenuhi tujuan peningkatan FK dan memberikan dasar teknis yang memadai untuk pengambilan keputusan desain.

DAFTAR RUJUKAN

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., & Boyce, G. M. (2002). Slope Stability and Stabilization Methods. John Wiley & Sons.
- Ardiansyah. (2022). Simulasi Metode Phi-C Reduction pada Lereng Jalan Tol. Bina Marga.
- (2005). Manual Penanganan

- Lereng Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Craig, R. F. (2012). *Craig's Soil Mechanics. 8th Edition. Spon Press.*
- Das, B. M. (1999). *Principles of Geotechnical Engineering. PWS Publishing.*
- Das, B. M. (2019). *Principles of Geotechnical Engineering. 9th Edition. Cengage Learning.*
- Fellenius, W. (1927). *Ergebnisse der Bodenmechanik.* Berlin.
- Nuric, A., Nuric, S., Kricak, L., & Husagic, R. (2013). *Numerical Methods in Analysis of Slope Stability. 9th International Symposium "Modern Technologies in Mining", 249–256.*
- Powers, J. P., Corwin, A. B., Schmall, P. C., & Kaack, W. E. (2017). *Construction Dewatering and Groundwater Control: New Methods and Applications (3rd ed.).* Hoboken, New Jersey: Wiley.
- Rahardjo, H., Hritzuk, K. J., Leong, E. C., & Rezaury, R. B. (2003). *Effectiveness of Horizontal Drains for Slope Stability.*
- Sitorus, P. H., & Wulandari, S. (2022). Pengaruh Perilaku Tinggi Muka Air Tanah dengan Variasi Kemiringan Lereng Terhadap Stabilitas Lereng Berbasis Pemodelan Numerik. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 7(1), 1-10.
- SNI 8460:2017. (2017). Persyaratan Perancangan Geoteknik. Badan Standardisasi Nasional.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons.*