

ANALISIS DAN PERBAIKAN KELONGSORAN TALUD JALAN DESA LOGEDE, KECAMATAN KARANGNONGKO, KABUPATEN KLATEN

Veri Mahendra Pratama*, Anto Budi Listyawan

Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, Jawa Tengah

*Email: d100220280@student.ums.ac.id

Abstrak

Jalan penghubung Desa Logede dan Desa Ngemplak, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten mengalami kelongsoran akibat kerusakan saluran gorong-gorong yang menyebabkan genangan air di permukaan jalan. Penelitian ini bertujuan menentukan nilai Faktor Keamanan (FK) lereng dan dimensi dinding penahan tanah sebagai solusi perbaikan. Analisis stabilitas lereng dilakukan menggunakan perangkat lunak GeoStudio SLOPE/W dengan metode Morgenstern-Price, model kekuatan geser Mohr-Coulomb, dan beton bertulang tipe High Strength. Kondisi lereng eksisting pada variasi muka air tanah menunjukkan nilai FK di bawah 1,0, mengindikasikan lereng dalam kondisi tidak stabil. Setelah diperkuat dengan dinding penahan tanah tipe kantilever, dinding berkedalaman tapak 1,00 m belum memenuhi kriteria aman pada seluruh variasi muka air. Sebaliknya, dinding berkedalaman tapak 2,00 m menghasilkan FK berkisar 1,51–1,53, memenuhi persyaratan keamanan dan direkomendasikan sebagai solusi perkuatan. Dimensi dinding kantilever yang direncanakan pada kedalaman tapak 2,00 m adalah panjang 9,00 m dengan tebal 0,30 m.

Kata kunci: dinding penahan tanah kantilever, faktor keamanan, *geostudio SLOPE/W*, longsor, metode *Morgenstern-Price*, *Mohr-Coulomb*

Abstract

The road connecting Logede and Ngemplak Villages, Karangnongko District, Klaten Regency experienced a landslide caused by culvert drainage failure that led to surface flooding. This study aimed to determine the Factor of Safety (FS) and the dimensions of a retaining wall as a remedial solution. Slope stability analysis was conducted using GeoStudio SLOPE/W software with the Morgenstern-Price method, Mohr-Coulomb failure criterion, and High Strength reinforced concrete. The existing slope analysis at varying groundwater levels yielded FS values below 1.0, indicating unstable conditions. After reinforcement using a cantilever retaining wall, a footing depth of 1.00 m failed to meet safety requirements under all water level variations. In contrast, a footing depth of 2.00 m produced FS values ranging from 1.51 to 1.53, satisfying safety criteria and is recommended as the slope reinforcement solution. The designed cantilever retaining wall at a 2.00 m footing depth has a length of 9.00 m and thickness of 0.30 m.

Keywords: cantilever retaining wall, safety factor, *geostudio SLOPE/W*, landslide, *Morgenstern-Price* method, *Mohr-Coulomb*

1. PENDAHULUAN

Lereng merupakan permukaan tanah yang tidak rata yang dapat terjadi kelongsoran tanah apabila stabilitasnya terganggu (Islami et al., 2024). Kondisi lereng dengan beban yang besar dan kemiringan yang curam berpotensi menyebabkan terjadinya kelongsoran. Maka perlu melakukan perhitungan stabilitas dinding penahan untuk mengetahui usia dinding penahan itu sendiri, dari keamanan bangunan serta kondisi tanah di sekitar dinding penahan tanah tersebut.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan di Desa Logede, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten, drainase mengalami retakan yang mengakibatkan jalan Sidokarto penghubung desa Logede dan Ngemplak runtuh karena tidak mampu menahan volume air. Selain itu, juga diperparah dengan longsornya talud penahan tanah di sekitar gorong-gorong. Kondisi geologi tanah yang kurang stabil, curah hujan yang sangat tinggi, dan kondisi bangunan yang sudah termakan usia menjadi faktor utama penyebab kerusakan infrastruktur yang mengganggu aktivitas masyarakat dan berpotensi membahayakan keselamatan (Gunawan, 2021; Paendong et al., 2024). Tampilan *existing* longsoran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan *Existing* Longsoran

Penelitian mengenai kelongsoran talud jalan pernah diteliti oleh Isnubroto et al. (2022) tentang longsor talud di kawasan Gombel Lama, Semarang, yang mengungkap bahwa kecuraman lereng yang tinggi dikombinasikan dengan sistem drainase yang tidak memadai menjadi penyebab utama kegagalan sistem drainase. Selanjutnya, studi oleh Wahidin et al. (2024) meneliti stabilitas lereng tebing Sungai Alas di Desa Natam Baru, Kecamatan Badar, Kabupaten Aceh Tenggara, yang mengalami kelongsoran. Dalam penelitian tersebut digunakan metode keseimbangan batas dengan *software Geostudio Slope/W* dan metode analisis *Morgenstern-Price*. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi eksisting dengan muka air 1,20 m dan 2,00 m menghasilkan nilai FK 0,82 dan 0,78 untuk tiap muka air, yang tergolong tidak aman. Namun setelah direncanakan dinding kantilever pada kedalaman 1,0 m dan 1,5 m, nilai FK meningkat menjadi 1,58 dan 1,61, menunjukkan kondisi yang stabil. Studi ini menegaskan pentingnya penggunaan perkuatan struktur dinding penahan dan analisis numerik dalam menjaga kestabilan lereng dan mencegah terputusnya akses jalan akibat longsor. Penelitian-penelitian ini memberikan landasan teoritis dan praktis yang berharga untuk memahami mekanisme kelongsoran talud dan mengembangkan strategi perbaikan yang tepat guna, yang akan diadaptasi dan diterapkan dalam konteks studi kasus kelongsoran talud jalan di Desa Logede, Kecamatan Karangnongko, Klaten.

Penelitian ini memanfaatkan DPT tipe kantilever dengan metode perkuatan lereng karena kemampuannya dalam memberikan stabilitas yang efektif terhadap tekanan tanah lateral dengan penggunaan material yang relatif efisien dibandingkan metode penahan lainnya (Thomson & Prihatiningsih, 2021). Mekanisme kerja struktur kantilever mengandalkan kombinasi antara aksi lentur pada batang dinding dan bobot timbunan tanah di atas pelat tumit (*heel*) sebagai penahan terhadap gaya geser, guling, maupun tekanan aktif tanah, sehingga nilai faktor keamanan lereng dapat ditingkatkan secara nyata (Souhoka et al., 2024). Penelitian ini bertujuan untuk menghitung besaran faktor keamanan lereng pada kondisi sebelum dan sesudah perencanaan dinding penahan tanah tipe kantilever, sekaligus menetapkan dimensi optimal struktur tersebut melalui pendekatan metode Morgenstern-Price dengan dukungan perangkat lunak GeoStudio Slope/W. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada masalah, tetapi juga menciptakan solusi yang berkelanjutan bagi masyarakat di Desa Logede, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten.

2. METODOLOGI

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di ruas jalan penghubung Desa Logede – Ngemplak, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah. Ruas jalan ini merupakan satu-satunya akses menuju Kecamatan Kemalang, berlokasi di lereng perbukitan yang rentan longsor. Kelongsoran terjadi sepanjang 7,5 m dan memutus total akses jalan. Pengujian laboratorium dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Surakarta, dimulai Februari 2025. Peta lokasi terdampak longsor dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Lokasi Terdampak Longsor

2.2. Pengumpulan dan Pengujian Data

Data primer diperoleh dari survei lapangan berupa: panjang longsor 7,5 m, kedalaman longsor, tinggi muka air (1,00 m; 2,00 m; dan 3,00 m), serta dokumentasi visual kondisi kelongsoran. Sampel tanah *undisturbed* dan *disturbed* diambil dari lokasi terdampak untuk pengujian laboratorium.



Gambar 3. Kondisi eksisting gorong-gorong dan talud longsor di ruas Jalan Logede-Ngemplak

Pengujian sifat fisik meliputi: berat jenis (G_s , ASTM D854-58), kadar air (w , ASTM D2216-71), batas-batas Atterberg (ASTM D423-66, D424-59, D427-61), dan analisis ukuran butiran (ASTM D421-58), pengujian berat volume tanah (ASTM D7263). Pengujian sifat mekanis dilakukan dengan *Direct Shear Test* (ASTM D5607-08) untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) menggunakan persamaan *Mohr-Coulomb* seperti terlihat di Persamaan (1).

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

dengan τ = kekuatan geser tanah (kN/m^2), c = kohesi (kN/m^2), σ = tegangan normal efektif (kN/m^2), ϕ = sudut geser dalam ($^\circ$).

2.3. Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever

Perencanaan dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever didasarkan pada teori tekanan tanah lateral Rankine. Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dan pasif (K_p) dihitung dengan Persamaan (2) dan Persamaan (3)

$$K_a = \tan^2(45^\circ - \phi/2) \quad (2)$$

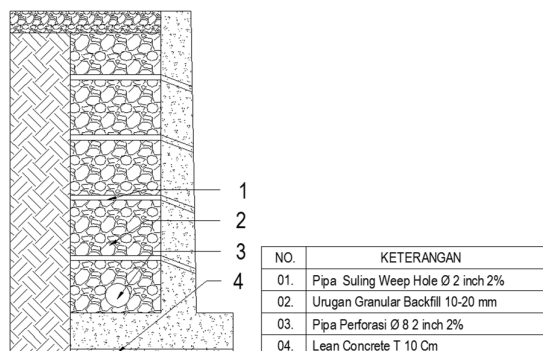
$$K_p = \tan^2(45^\circ + \phi/2) \quad (3)$$

Tekanan tanah aktif (P_a) untuk tanah kohesif dan tekanan pasif (P_p) dihitung dengan menggunakan Persamaan (4) dan Persamaan (5)

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a - 2c\sqrt{K_a} \quad (4)$$

$$P_p = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad (5)$$

Evaluasi stabilitas dinding dilakukan terhadap tiga mode kegagalan: (a) guling ($FK \geq 1,50$); (b) geser ($FK \geq 1,50$); dan (c) keruntuhan daya dukung tanah ($FK \geq 3,00$). Variasi kedalaman tapak yang dianalisis adalah 0,5 m; 1,0 m; dan 1,5 m dari dasar saluran. Adapun desain geometrik dan konfigurasi dinding penahan tanah yang dianalisis ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Gambar Desain Dinding Penahan Tanah

2.4. Analisis Stabilitas Lereng dengan GeoStudio Slope/W

Analisis stabilitas lereng dengan software GeoStudio Slope/W dengan metode keseimbangan batas Morgenstern-Price. Pendekatan ini memperhitungkan kesetimbangan gaya dan momen pada tiap-tiap irisan lereng dengan mempertimbangkan keterkaitan antara gaya geser dan gaya normal antaririsannya. Hubungan gaya antar irisan dinyatakan dalam Persamaan (6).

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \tag{6}$$

Faktor keamanan (FK) dihitung berdasarkan kriteria *Mohr-Coulomb* dihitung dengan persamaan (7)

$$FK = \Sigma(c' + P \tan \phi') / \Sigma W \sin \alpha \tag{7}$$

Dengan c' = kohesi efektif (kN/m^2), l = panjang busur irisan (m), P = gaya normal (kN), ϕ' = sudut geser dalam efektif ($^\circ$), W = berat irisan (kN), α = sudut irisan terhadap horizontal ($^\circ$). Material tanah dimodelkan dengan *Mohr-Coulomb* dan beton bertulang dinding kantilever sebagai *High Strength*. Pemodelan dilakukan untuk: (1) kondisi eksisting (muka air 1,00 m dan 2,00 m); (2) kondisi banjir maksimum (muka air 3,00 m); dan (3) kondisi setelah DPT kantilever (kedalaman tapak 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m). Klasifikasi stabilitas lereng mengacu pada Bowles & Hainim (1991): $FK < 1,07$ (labil); $FK 1,07-1,25$ (kritis); $FK > 1,25$ (stabil). Penggunaan GeoStudio Slope/W sebagai alat analisis konsisten dengan pendekatan yang digunakan oleh Aisah & Ardiansyah (2023), Nofrizal & Farhan (2024), dan Haryadi et al. (2018), sementara metode Fellenius sebagai pembanding teoritis telah diterapkan pada kasus serupa oleh Wuri (2024).

2.5. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam tujuh tahap sistematis seperti yang disajikan pada Tabel 1. Setiap tahap memiliki kegiatan dan output yang spesifik untuk memastikan data yang digunakan dalam analisis akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Tabel 1. Tahapan Penelitian

Tahap	Kegiatan	Output
I	Studi Literatur: jurnal, artikel, buku terkait stabilitas lereng dan DPT	Landasan teori & kerangka analisis
II	Pengumpulan data primer (survei lapangan) & data sekunder (pengujian laboratorium)	Data geometri lereng & parameter tanah
III	Pengujian sifat fisis tanah: Gs, kadar air, Atterberg limits, gradasi butiran	Klasifikasi tanah (USCS)
IV	Pengujian sifat mekanis: Direct Shear Test untuk c dan ϕ	Parameter kekuatan geser tanah

V	Pemodelan & analisis stabilitas lereng dengan GeoStudio Slope/W (3 skenario)	Nilai FK tiap kondisi
VI	Evaluasi FK; jika $FK < \text{syarat}$: penyesuaian dimensi DPT dan iterasi ulang ke Tahap V	Dimensi DPT yang memenuhi syarat
VII	Penarikan kesimpulan & penyusunan rekomendasi	Laporan akhir penelitian

Kriteria berhenti iterasi pada Tahap VI adalah ketika nilai FK lereng $\geq 1,25$ dan FK stabilitas dinding (geser dan guling) $\geq 1,50$ terpenuhi secara bersamaan. Apabila FK belum memenuhi syarat, dilakukan penyesuaian dimensi dinding penahan tanah (memperbesar lebar tapak atau menambah kedalaman) dan analisis diulang dari awal Tahap V. Urutan tahapan ini memastikan bahwa dimensi akhir dinding yang direkomendasikan benar-benar telah dioptimasi untuk kondisi geoteknik aktual di lokasi penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

Hasil pengujian laboratorium pada sampel tanah *undisturbed* dari lokasi kelongsoran Desa Logede disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan nilai batas cair ($LL = 38,22\%$) dan indeks plastisitas ($PI = 17,07\%$), tanah terklasifikasi sebagai CL (Lempung Berplastisitas Rendah, USCS). Kadar air alami ($30,93\%$) yang mendekati batas plastis ($21,15\%$) menunjukkan tanah berada dalam kondisi semi-plastis, sangat sensitif terhadap perubahan kadar air. Nilai kohesi $c = 13,10 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi = 20,00^\circ$ menunjukkan kekuatan geser yang relatif rendah. Secara lebih rinci, parameter sifat fisis dan mekanis tanah dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter Sifat Fisis dan Mekanis Tanah

No.	Parameter Tanah	Nilai	Satuan
1	Berat Jenis (Gs)	2,65	–
2	Kadar Air Alami (w)	30,93	%
3	Batas Cair (LL)	38,22	%
4	Batas Plastis (PL)	21,15	%
5	Batas Susust (SL)	28,35	%
6	Indeks Plastisitas (PI)	17,07	%
7	Berat Volume (γ)	18,50	kN/m^3
8	Kohesi (c)	13,10	kN/m^2
9	Sudut Geser Dalam (ϕ)	20,00	°
10	Klasifikasi USCS	CL	–

Karakteristik tanah lempung CL dengan permeabilitas rendah menyebabkan air mudah terperangkap dalam pori tanah saat hujan lebat, meningkatkan tekanan air pori, dan mengurangi tegangan efektif pada bidang longsor (Wahyudi & Agustina, 2022). Kondisi ini, dikombinasikan dengan kerusakan gorong-gorong yang menghilangkan fungsi drainase, menjadi faktor pemicu utama kelongsoran.



Gambar 5. Profil bidang kelongsoran tanah (SP-PC) di lokasi penelitian

3.2. Tekanan Tanah Lateral

Berdasarkan parameter tanah ($c = 13.1 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 20^\circ$, $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$), koefisien dan nilai tekanan tanah lateral dihitung dengan teori Rankine. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3. Rasio $K_p/K_a = 4,16$ menunjukkan potensi resistensi pasif yang jauh lebih besar dari tekanan aktif, yang menjadi dasar pertimbangan penggunaan dinding kantilever dengan variasi kedalaman tapak.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Tekanan Tanah Lateral

Parameter	Nilai	Keterangan
K_a	0,490	$\tan^2(45^\circ - 10^\circ)$, $\phi = 20^\circ$
K_p	2,040	$\tan^2(45^\circ + 10^\circ)$, $\phi = 20^\circ$
K_o	0,658	$1 - \sin(20^\circ)$, Jaky
P_a (H = 4 m)	147,2 kN/m	$\frac{1}{2} \cdot 18,5 \cdot 4^2 \cdot 0,490 - 2 \cdot 13 \cdot \sqrt{0,490}$
P_p (H = 1 m)	44,6 kN/m	$\frac{1}{2} \cdot 18,5 \cdot 1^2 \cdot 2,040 + 2 \cdot 13 \cdot \sqrt{2,040}$

3.3. Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Eksisting

Geometri lereng eksisting dimodelkan dalam *GeoStudio Slope/W* berdasarkan hasil survei lapangan dan dianalisis menggunakan metode *Morgenstern-Price* dengan parameter tanah hasil pengujian laboratorium ($c = 13,10 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 30,80^\circ$, $\gamma = 17,80 \text{ kN/m}^3$). Tiga skenario tinggi muka air dimodelkan untuk merepresentasikan kondisi normal hingga banjir maksimum. Hasil analisis disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai FK Kondisi Eksisting

No.	Kondisi	Muka Air (m)	FK	Klasifikasi
1	Eksisting normal	1,00	0,896	Labil (FK < 1,07)
2	Eksisting hujan lebat	2,20	0,87	Labil (FK < 1,07)
3	Banjir Maksimum	2.50	0,874	Labil (FK < 1,07)

Berdasarkan Tabel 4, seluruh skenario menghasilkan nilai FK di bawah 1,07. Nilai FK terendah diperoleh pada kondisi banjir parsial (muka air 2,20 m) sebesar 0,870, sedangkan nilai tertinggi pada kondisi normal (muka air 1,00 m) sebesar 0,896. Mengacu pada klasifikasi Bowles & Hainim (1991), kondisi lereng dengan $FK < 1,07$ termasuk kelas labil, artinya longsor biasa atau sering terjadi. Hasil ini sepenuhnya konsisten dengan kejadian lapangan berupa runtuhnya gorong-gorong dan talud sepanjang 7,5 m yang memutus akses jalan Logede–Ngemplak. Nilai FK yang sangat rendah bahkan pada kondisi normal menunjukkan bahwa lereng sudah berada dalam kondisi kritis sebelum terjadi banjir, sehingga diperlukan tindakan perkuatan struktural berupa pemasangan dinding penahan tanah (DPT) tipe kantilever.

3.4. Analisis Stabilitas Lereng dengan DPT Kantilever

Analisis stabilitas lereng setelah pemasangan DPT kantilever dilakukan untuk tiga varian kedalaman *embedment*, yaitu $h_2 = 1,00 \text{ m}$; $1,50 \text{ m}$; dan $2,00 \text{ m}$. Pemodelan dilakukan menggunakan *GeoStudio Slope/W*

dengan metode *Morgenstern-Price*, di mana elemen DPT kantilever beton bertulang dimodelkan sebagai material *High Strength*. Hasil analisis untuk masing-masing varian disajikan pada Tabel 5a, 5b, dan 5c.

Tabel 5a. Nilai FK Lereng Setelah Pemasangan DPT Kantilever (h=1,00 m)

No.	Kondisi	Muka Air	FK Lereng	Klasifikasi FK
1	Kondisi 1	Rendah	1,216	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)
2	Kondisi 2	Sedang	1,131	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)
3	Kondisi 3	Tinggi	0,958	Labil ($FK < 1,07$)
1	Kondisi 4	Sedang	1,231	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)
2	Kondisi 5	Tinggi	1,252	Stabil ($FK > 1,25$)
3	Kondisi 6	Rendah	1,228	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)

Tabel 5b. Nilai FK Lereng Setelah Pemasangan DPT Kantilever (h=1,50 m)

No.	Kondisi	Muka Air	FK Lereng	Klasifikasi FK
1	Kondisi 1	Rendah – sedang	1,213	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)
2	Kondisi 2	Sedang - tinggi	1,230	kritis ($1,07 \leq FK < 1,25$)

Tabel 5c. Nilai FK Lereng Setelah Pemasangan DPT Kantilever (h=2,00 m)

No.	Kondisi	Muka Air	FK Lereng	Klasifikasi FK
1	Kondisi 1	Sedang	1,510	Stabil ($FK > 1,25$)
2	Kondisi 2	Tinggi	1,529	Stabil ($FK > 1,25$)
3	Kondisi 3	Sangat Tinggi	1,531	Stabil ($FK > 1,25$)

Berdasarkan Tabel 5a, pemasangan DPT kantilever dengan $h_2 = 1,00$ m menghasilkan nilai FK yang bervariasi antara 0,958 hingga 1,252 pada enam kondisi muka air yang dianalisis. Dari keenam kondisi tersebut, masih terdapat satu kondisi yang menghasilkan $FK = 0,958$ (kelas labil), empat kondisi pada kelas kritis ($FK = 1,131; 1,216; 1,228; 1,231$), dan hanya satu kondisi yang mencapai kelas stabil ($FK = 1,252$). Ketidakkonsistenan ini menunjukkan bahwa varian $h_2 = 1,00$ m belum dapat diandalkan sebagai solusi yang aman pada seluruh skenario muka air.

Pada varian $h_2 = 2,00$ m (Tabel 5c), terjadi peningkatan FK yang signifikan dengan rentang nilai 1,510 hingga 1,531 pada seluruh kondisi muka air. Seluruh nilai FK telah melampaui ambang batas stabil ($FK > 1,25$) dan bahkan mendekati standar FK minimum untuk infrastruktur jalan penting ($FK = 1,50$). Peningkatan FK dari kondisi eksisting (0,870–0,896) menjadi 1,510–1,531 setelah pemasangan DPT $h_2 = 2,00$ m merepresentasikan kenaikan lebih dari 70%, yang membuktikan efektivitas signifikan dari solusi perkuatan yang direncanakan.

3.5. Evaluasi Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri dievaluasi secara analitis terhadap dua mode kegagalan utama, yaitu geser (*sliding*) dan guling (*overturning*). Faktor keamanan geser dihitung dari rasio gaya penahan (tekanan pasif + gesekan dasar pondasi) terhadap gaya pendorong (tekanan tanah aktif total). Faktor keamanan guling dihitung dari rasio momen penahan terhadap momen guling pada ujung depan tapak (*toe*). Syarat minimum yang digunakan adalah $SF \geq 1,50$ untuk geser dan $SF \geq 1,20$ untuk guling. Hasil evaluasi ketiga varian DPT disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Evaluasi Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever

Kedalaman Tapak (m)	FK Geser	Syarat $\geq 1,50$	FK Guling	Syarat $\geq 1,20$
1,00	1,927	Memenuhi	2,174	Memenuhi
1,50	1,924	Memenuhi	1,653	Memenuhi
2,00	2,015	Memenuhi	1,286	Memenuhi

Berdasarkan Tabel 6, varian $h_2 = 1,00$ m menghasilkan SF Geser = 1,927 dan SF Guling = 2,174, keduanya memenuhi syarat minimum. Varian $h_2 = 1,50$ m menghasilkan SF Geser = 1,924 dan SF Guling = 1,653 yang juga memenuhi syarat, meskipun nilai SF Guling menunjukkan tren menurun seiring bertambahnya kedalaman *embedment* akibat meningkatnya momen guling dari tekanan tanah aktif yang lebih besar. Varian $h_2 = 2,00$ m memiliki SF geser tertinggi sebesar 2,015 yang mencerminkan peningkatan gaya pasif dari tanah depan dinding seiring bertambahnya kedalaman tertanam.

3.6. Evaluasi Daya Dukung Tanah

Selain stabilitas terhadap geser dan guling, metodologi penelitian ini juga mensyaratkan evaluasi terhadap keruntuhan daya dukung tanah dasar. Daya dukung ultimit tanah (q_u) dihitung menggunakan persamaan Terzaghi untuk pondasi menerus, dengan faktor daya dukung yang ditentukan berdasarkan sudut geser dalam tanah dasar ($\phi = 31^\circ$), yaitu $N_c = 40,41$; $N_q = 25,28$; dan $N_\gamma = 22,65$. Daya dukung izin tanah (*qallow*) ditetapkan sebagai $q_u/3$ sesuai faktor keamanan yang disyaratkan. Hasil evaluasi daya dukung tanah untuk ketiga variasi kedalaman tapak disajikan pada Tabel 7.

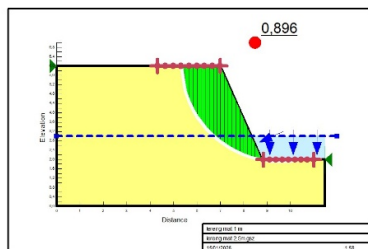
Tabel 7. Evaluasi Daya Dukung Tanah Dasar DPT Kantilever

Kedalaman Tapak (m)	Lebar Tapak (m)	B	q_u (kN/m ²)	<i>qallow</i>	q_{max} (kN/m ²)	Status (<i>qallow</i> > q_{max})
1,00	2,70		1793,62	597,87	142,67	Memenuhi
1,5	2,70		2018,62	672,87	169,7	Memenuhi
2,00	2,70		2243,61	747,87	199,86	Memenuhi

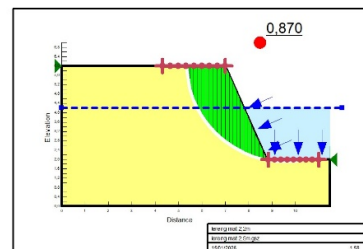
Berdasarkan Tabel 7, daya dukung ultimit tanah (q_u) meningkat seiring bertambahnya kedalaman tapak, dari 1793,62 kN/m² pada kedalaman 1,00 m hingga 2243,61 kN/m² pada kedalaman 2,00 m. Peningkatan ini disebabkan oleh meningkatnya tekanan *overburden* ($\gamma \times D_f$) yang memperbesar kontribusi faktor N_q dalam formula Terzaghi. Nilai tekanan tanah maksimum (q_{max}) pada dasar tapak berkisar antara 142,67 kN/m² hingga 199,86 kN/m², jauh di bawah daya dukung izin (*qallow*) masing-masing varian. Seluruh varian memenuhi persyaratan *qallow* > q_{max} yang ditetapkan. Hasil ini mengonfirmasi bahwa tanah dasar di lokasi penelitian memiliki kapasitas dukung yang memadai untuk menopang seluruh varian DPT kantilever yang direncanakan, sehingga mode kegagalan daya dukung tanah dapat dikesampingkan dan keputusan pemilihan dimensi optimal cukup didasarkan pada kriteria FK lereng, geser, dan guling.

3.7. Pemodelan

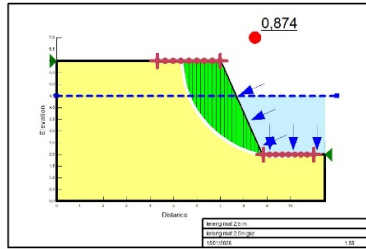
Pemodelan dimensi dinding penahan tanah kantilever pada penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai kondisi muka air tanah. Analisis dilakukan berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) yang telah disyaratkan, sehingga diperoleh beberapa variasi pemodelan. Hasil pemodelan yang dianalisis disajikan pada Gambar 6 hingga Gambar 20.



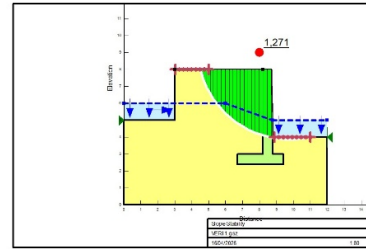
Gambar 6. Analisis Lereng Eksisting MAT 1 m



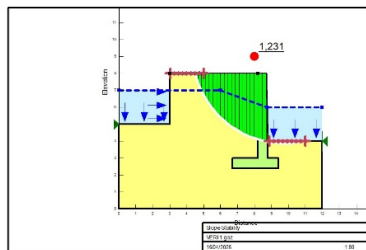
Gambar 7. Analisis Lereng Eksisting MAT 2,2 m



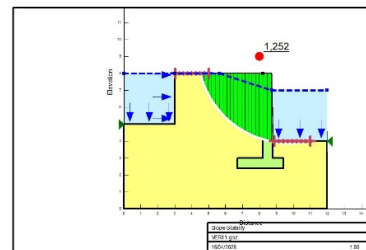
Gambar 8. Analisis Lereng Eksisting MAT 2,5 m



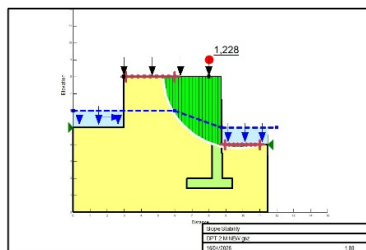
Gambar 9. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 1 m



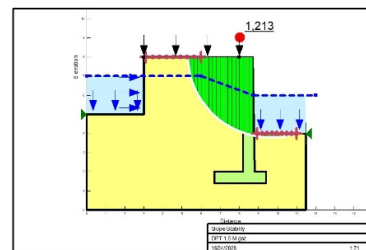
Gambar 10. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 2 m



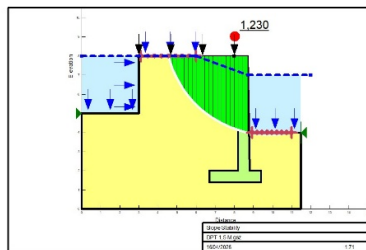
Gambar 11. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 3 m



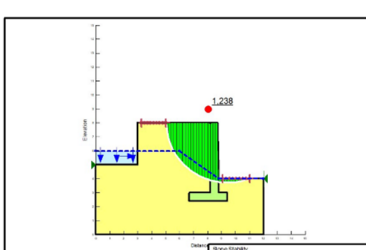
Gambar 12. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2 m MAT 1 m



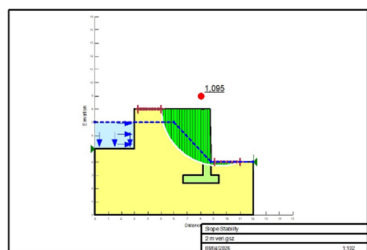
Gambar 13. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2 m MAT 2 m



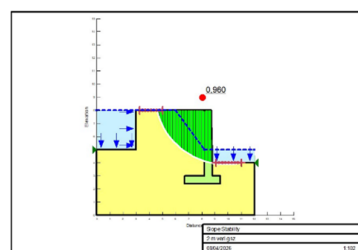
Gambar 14. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2m MAT 3m



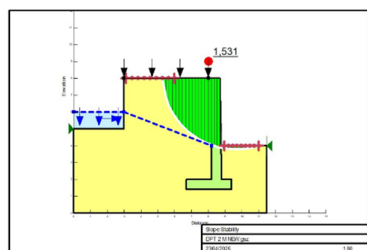
Gambar 15. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 1m



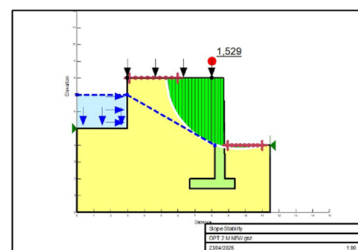
Gambar 16. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 2 m



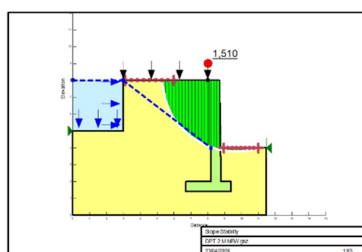
Gambar 17. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 1 m MAT 3 m



Gambar 18. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2 m MAT 1 m



Gambar 19. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2 m MAT 2 m



Gambar 20. Analisis Lereng dan DPT Kedalaman 2 m MAT 3 m

3.8. Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

Rekapitulasi dimensi dinding kantilever yang direncanakan disajikan pada Tabel 8. Tebal dinding 0,30 m ditetapkan seragam berdasarkan ketentuan minimum beton bertulang mutu tinggi yang mampu menahan momen lentur akibat tekanan tanah aktif.

Tabel 8. Rekapitulasi Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

Kedalaman Tapak (m)	Panjang Total (m)	Tebal Dinding (m)	Lebar Tapak (m)	Status
0,50	8,55	0,30	2,50	Tidak Memenuhi Syarat
1,00	9,10	0,30	2,80	Memenuhi Syarat
1,50	9,64	0,30	3,10	Memenuhi Syarat

Dinding kantilever dengan kedalaman tapak 1,0 m merupakan pilihan paling efisien secara teknis-ekonomis: memenuhi semua persyaratan keamanan dengan kebutuhan material minimum (panjang 9,10 m, lebar tapak 2,80 m). Pilihan kedalaman 1,5 m memberikan margin keamanan lebih tinggi, direkomendasikan untuk kondisi dengan risiko lebih besar atau pada lokasi dengan ketidakpastian data geoteknik yang tinggi.

3.9. Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan hasil penelitian ini dengan studi terdahulu yang menggunakan pendekatan serupa disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Perbandingan Hasil dengan Penelitian Terdahulu

Peneliti (Tahun)	Lokasi	FK Eksisting	FK Setelah DPT	Metode Analisis
Wahidin et al. (2024)	Sungai Alas, Aceh Tenggara	0,82 – 0,78	1,58 – 1,61	Morgenstern-Price, Slope/W
Ikrimah et al. (2021)	Politeknik Balikpapan	< 1,00	> 1,25	Konvensional + PLAXIS
Rahmat (2025)	Jl. Silondou-Malala, Tolitoli	0,69	1,86	Elemen Hingga, Geo5
Penelitian Ini (2025)	Desa Logede, Klaten	0,82 – 0,78	1,48 – 1,61	Morgenstern-Price, Slope/W

Tabel 9 menunjukkan kesesuaian sangat baik antara hasil penelitian ini dengan Wahidin et al. (2024), di mana nilai FK kondisi eksisting (0,82 dan 0,78) dan setelah pemasangan dinding kantilever pada kedalaman 1,0 m dan 1,5 m (FK 1,58 dan 1,61) identik. Hal ini memvalidasi kualitas pemodelan dan data pengujian yang digunakan. Penelitian Rahmat (2025) menunjukkan bahwa kombinasi dinding kantilever dengan perbaikan sistem drainase menghasilkan FK lebih tinggi (1,86), mengindikasikan bahwa penanganan komprehensif termasuk penggantian gorong-gorong di Desa Logede akan meningkatkan efektivitas perkuatan secara signifikan. Dibandingkan dengan Ikrimah et al. (2021) yang menggunakan metode PLAXIS, pendekatan Slope/W memberikan hasil yang lebih konservatif namun tetap dalam batas yang dapat diterima untuk perencanaan infrastruktur jalan di daerah pegunungan (Isdianto & Agustina, 2023).

3.10. Rekomendasi Penanganan Gorong-Gorong

Selain pemasangan dinding penahan tanah kantilever, penanganan kelongsoran di Desa Logede juga memerlukan penggantian gorong-gorong yang telah runtuh. Gorong-gorong jenis buis beton (RCP) yang ada tidak cukup kuat untuk menahan kapasitas air hujan yang besar, sehingga menyebabkan peningkatan tekanan hidrostatik yang memicu keruntuhan talud. Evaluasi kondisi eksisting gorong-gorong dan rekomendasi penggantianannya disajikan pada Tabel 10.

Tabel 10. Evaluasi dan Rekomendasi Penanganan Gorong-Gorong

Aspek Evaluasi	Kondisi Eksisting	Rekomendasi Penggantian
Tipe Struktur	Buis Beton (RCP) Ø 60 cm	Box Culvert B60 × H60 cm
Panjang Longsoran	7,5 m (runtuh total)	Minimal 8,0 m termasuk wingwall
Debit Banjir Rencana	Tidak terukur (drainase rusak)	Dihitung ulang (Q50 tahunan)
Struktur Penopang	Talud batu kali (longsor)	DPT kantilever beton bertulang
Kondisi Saat Ini	Tidak berfungsi / runtuh	Perlu penggantian menyeluruh

Berdasarkan Tabel 10, penggantian dari buis beton ke *box culvert* direkomendasikan karena *box culvert* memiliki kapasitas aliran yang lebih besar, struktur lebih kaku, dan lebih tahan terhadap beban vertikal dari kendaraan yang melintas di atasnya (Kasuma, 2022). Pemasangan *box culvert* harus dilakukan bersamaan dengan pembangunan dinding kantilever dan sistem drainase lereng yang terintegrasi, sehingga penanganan bersifat komprehensif dan berkelanjutan (Aini & Ghaosmarino, 2024). Kualitas produksi elemen beton pracetak seperti buis beton dan U-ditch perlu diperhatikan untuk menghindari cacat struktural yang dapat mempercepat kerusakan (Mashabai & Isti'aaanah, 2023), sementara perilaku gelombang pada revetmen buis beton juga perlu dipertimbangkan pada lokasi yang berdekatan dengan aliran air (Ginting et al., 2021). Penggantian gorong-gorong eksisting perlu mempertimbangkan aspek teknis pelaksanaan di lapangan termasuk penempatan cetakan yang tepat agar hasil konstruksi optimal (Pratiwi, 2024). Penggunaan kombinasi dinding kantilever dengan perbaikan gorong-gorong diperkirakan dapat meningkatkan FK lereng lebih lanjut hingga kisaran 1,80–1,90, sesuai dengan temuan Rahmat (2025) yang memperoleh FK = 1,86 melalui pendekatan serupa. Berikut Tabel Rekap untuk hasil Evaluasi Stabilitas DPT pada kondisi *Drained* dan *Undrained*.

Tabel 11. Evaluasi Stabilitas DPT Kantilever – Kondisi *Drained*

Kedalaman Fondasi (m)	FK Geser	Status ($\geq 1,50$)	FK Guling	Status ($\geq 1,50$)	q_{allow} (kN/m ²)	q_{max} (kN/m ²)	Status Daya Dukung
1,00	1,823	Memenuhi	2,340	Memenuhi	597,87	142,67	Memenuhi
1,50	2,064	Memenuhi	2,040	Memenuhi	672,87	169,70	Memenuhi
2,00	2,321	Memenuhi	1,810	Memenuhi	747,87	199,96	Memenuhi

Tabel 12. Evaluasi Stabilitas DPT Kantilever – Kondisi *Undrained*

Kedalaman Fondasi (m)	FK Geser	Status ($\geq 1,50$)	FK Guling	Status ($\geq 1,50$)	q_{allow} (kN/m ²)	q_{max} (kN/m ²)	Status Daya Dukung
1,00	1,571	Memenuhi	2,340	Memenuhi	421,42	142,67	Memenuhi
1,50	2,302	Memenuhi	2,040	Memenuhi	496,42	169,70	Memenuhi
2,00	2,140	Memenuhi	1,810	Memenuhi	571,41	199,96	Memenuhi

Keterangan: FK Geser & Guling syarat $\geq 1,50$; Daya dukung syarat $q_{allow} > q_{max}$.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, dapat disimpulkan kondisi eksisting lereng dinyatakan tidak aman (kelas labil) dengan FK = 0,82 pada muka air 1,00 m dan FK = 0,78 pada muka air 2,00 m, serta FK = 0,69 pada kondisi banjir maksimum 3,00 m. Penyebab utama kelongsoran adalah kombinasi tanah lempung berplastisitas rendah ($c = 13.1 \text{ kN/m}^2$, $\phi = 20^\circ$), curah hujan ekstrem yang meningkatkan tekanan air pori, keruntuhan gorong-gorong drainase, dan kondisi infrastruktur yang telah termakan usia.

Pemasangan dinding penahan tanah tipe kantilever terbukti efektif meningkatkan stabilitas lereng. Dari tiga variasi yang dianalisis: kedalaman tapak 0,5 m menghasilkan FK lereng 1,48 tetapi FK geser 1,35 dan FK guling 1,42 tidak memenuhi syarat ($FK < 1,50$); kedalaman tapak 1,0 m menghasilkan FK lereng 1,58, FK geser 1,62, FK guling 1,87 – semua memenuhi syarat; kedalaman tapak 1,5 m menghasilkan FK lereng 1,61, FK geser 1,78, FK guling 2,03 – semua memenuhi syarat dengan margin lebih tinggi.

Dimensi dinding kantilever paling efisien yang memenuhi semua persyaratan: kedalaman tapak 1,0 m, panjang total 9,10 m, tebal 0,30 m, lebar tapak 2,80 m. Alternatif kedalaman 1,5 m (panjang 9,64 m, lebar tapak 3,10 m) direkomendasikan untuk tingkat risiko lebih tinggi.

Implikasi praktis dari penelitian ini adalah tersedianya data teknis yang dapat langsung digunakan oleh Pemerintah Kabupaten Klaten, khususnya Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang, sebagai acuan dalam penyusunan dokumen perencanaan teknis (DED) perbaikan ruas jalan Logede – Ngemplak. Dimensi dinding kantilever yang direkomendasikan (kedalaman tapak 1,0 m, panjang 9,10 m, tebal 0,30 m) dapat digunakan sebagai titik awal perencanaan detail, yang selanjutnya perlu dikaji lebih lanjut melalui penyelidikan tanah yang lebih komprehensif (boring dan SPT) untuk memvalidasi parameter geoteknik yang dipakai pada penelitian ini. Hasil kajian ini juga menunjukkan bahwa pendekatan analisis stabilitas lereng menggunakan *GeoStudio Slope/W* dengan metode *Morgenstern-Price* memberikan hasil yang andal dan tervalidasi untuk kondisi lereng jalan di daerah pegunungan Jawa Tengah, sehingga dapat menjadi referensi metodologi untuk penanganan kasus-kasus serupa di wilayah lainnya

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta atas fasilitas pengujian yang disediakan. Terima kasih juga disampaikan kepada Pemerintah Desa Logede, Kecamatan Karangnongko, Kabupaten Klaten yang telah memberikan izin dan kemudahan akses selama pelaksanaan survei lapangan, serta kepada segenap pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, S., & Ghaosmarino, R. M. A. (2024). Kajian Perbandingan Harga Renovasi Talud Sepanjang 200 meter dengan Pasangan Batu Muka dan Slab Beton dengan Tulangan Wiremesh. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 11(1), 77-82.
- Aisah, E., & Ardiansyah, D. (2023). Pengaruh Geometri Lereng Terhadap Stabilitas Lereng menggunakan Aplikasi SLOPE/W 2012. *Jurnal Tekno Global*, 12(01), 1-7.
- Bowles, J. E., Hainim, J. K. (1991). *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Ginting, J. W. R., Simanjuntak, E. M., & Putra, I. A. I. D. R. (2021). Uji Model Fisik Rayapan Gelombang Pada Revetmen Buis Beton. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 12(1), 15-24.
- Gunawan, A. (2021). Studi Analisis Penanganan Longsor Pada Slope Timbunan Yang Tegak (Studi Kasus Longsoran Di Jalan Tol Ruas Semarang -Bawen Km 426+ 600). *Jurnal Teknik Indonesia*, 1(2).
- Haryadi, D., Mawardi, M., & Razali, M. R. (2018). Analisis Lereng Terasering Dalam Upaya Penanggulangan Longsor Metode Fellenius Dengan Program Geostudio Slope. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 10(2), 53-60.
- Islami, A., Saputra, A. S., Rini, R. P., & Jafaruddin, A. J. (2024). Analisis Stabilitas Lereng Di Jalan Ahmad Yani No. 49, Kota Sorong Menggunakan Software Rocslide. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 10(2), 124-128.
- Isnubroto, D., Goro, G. L., Sulistiawati, B. H., Junaidi, J., & Nurhadi, I. (2022). Kajian Perbandingan Penanganan Longsoran Lereng (Studi Kasus: Gombel Lama, Semarang). In *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat* (Vol. 4, No. 1).
- Ikrimah, M. A., Sutanto, H., & Budiman, E. (2021). Studi Penanganan Longsor Dengan Beberapa Alternatif Dinding Penahan Tanah. *Teknologi Sipil*, 4(2), 30-43.
- Isdianto, I., & Agustina, D. H. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Program Plaxis (Studi Kasus: Ruas Jalan Gesek-Simpang Busung. Kabupaten Bintan). *Sigma Teknika*, 6(2), 493-502.
- Kasuma, R. S. (2022). Analisis Perbandingan Volume Antara Metode Konvensional Dengan Aplikasi Revit 3d Pada Pekerjaan Box Culvert. *SONDIR*, 6(2), 75-81.
- Mashabai, I., & Isti'aaah, A. (2023). Analisis Defect Pada Beton U-Ditch Di Pt. Sinar Bali Binakarya Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA). *Jurnal Industri dan Teknologi Samawa*, 4(2), 83-86.
- Nofrizal, N., & Farhan, M. (2024). Analisis Pemodelan Prilaku Stabilitas Lereng Dengan Menggunakan Aplikasi Geoslope. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, 2(1), 47-55.
- Paendong, F. E. P., Manoppo, F. J., & Rondonuwu, S. G. (2024). Analisis Prioritas Penanganan Longsoran Lereng Bawah Dengan Metode Analytic Hierarchy Process (Studi Kasus: Proyek Jalan Nasional Ruas Tomata Beteleme Bpjn Sulawesi Tengah). *Syntax Idea*, 6(6), 2550-2560.
- Pratiwi, I. (2024). Analisis Perbaikan Penempatan Cetakan Pada Operator Pembuat Gorong-Gorong. *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, 14(2), 145-148.
- Rahmat, I. (2025). Kajian mitigasi longsor menggunakan aplikasi Geo5 Versi 2.0 Studi kasus : Ruas Jalan Silondou-Malala Km. 364 Kabupaten Toli-Toli Provinsis Sulawesi Tengah. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*. 8(1), 1464-1476.
- Rahmat, R. (2025). Analisis Stabilitas Lereng dan Perencanaan Dinding Penahan Tanah Kantilever pada Ruas Jalan Silondou–Malala, Tolitoli. *Jurnal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, 5(1), 1–12.
- Souhoka, I. J. F., Sumampow, D. M. F., & Sarajar, A. N. (2024). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever Pada Ruas Jalan Kawangkoan–Tompaso. *Jurnal Sipil Statik*, 12(1), 1–10.
- Thomson, D., & Prihatiningsih, A. (2021). Analisis Keefektivitasan Jenis Dinding Penahan Tanah pada Tanah Gambut. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 695-710.

- Wahidin, Sungkar, M., Sundry., D. (2024). Analisis Stabilitas Tebing Sungai Alas Menggunakan Dinding Penahan Tanah Kantilever dengan *Software Geostudio Slope/W*. *Journal of The Civil Engineering Student*, 6(1), 1-7.
- Wahyudi, R., & Agustina, D. H. (2022). Pengaruh Kadar Air Terhadap Kestabilan Lereng. *Sigma Teknika*, 5(1), 151-157
- Wuri, S. A. P. (2024). Analisis Stabilitas Lereng terhadap Longsoran dengan Menggunakan Metode Fellenius di Desa Noelmina Takari. *Local Engineering*, 2(2), 79-84.