

Evaluasi Stabilitas Lereng Dengan Metode Limit Equilibrium Pada Sungai Waridin

Andri Kurniawan^{1*)}, Bagas Wahyu Adhi²⁾, Hannung Pamungkas³⁾, Mochammad Qomaruddin⁴⁾

^{1*) 2) 3)} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Batik Surakarta

⁴⁾ Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Nahdlatul Ulama Jepara
Email: andrimartinez1991@gmail.com*, hannungp03@gmail.com, bagaswahyu54@gmail.com*

Abstrak

Sungai memegang peranan penting dalam rangka peningkatan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat Indonesia. Selain itu sungai juga dapat mengakibatkan banjir. Sungai waridin merupakan salah satu sungai yang ada di wilayah kabupaten Kendal. Banjir merupakan peristiwa terjadi genangan pada daerah datar sekitar sungai akibat meluapnya air yang tidak mampu ditampung oleh sungai. Untuk mengatasi permasalahan banjir dilakukan penambahan parapet serta normalisasi sungai. Untuk itu diperlukan analisis stabilitas lereng dari sungai Waridin tersebut ditinjau dari kondisi eksisting, kondisi desain serta konstruksi dengan memperhatikan 3 (tiga) kondisi pemodelan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah dengan metode Limit Equilibrium dengan menggunakan bantuan perangkat lunak yaitu Geostudio menggunakan menu SLOPE/W. Analisis dilakukan pada kondisi eksisting, perencanaan, serta pada konstruksi. Analisis ini dilakukan pada keadaan normal, gempa, serta rapiddrawdown. Hasil dari analisis eksisting didapatkan hasil pada kondisi kombinasi gempa kestabilan lereng berada di bawah faktor aman yaitu $1.02 < 1.2$ pada kondisi lain cenderung aman. Pada analisis perencanaan dengan kombinasi normalisasi serta penambahan parapet dengan fondasi mini pile 3 meter didapatkan hasil semua kondisi analisis melebihi nilai faktor keamanan. Dikarenakan pada saat konstruksi terjadi longsor maka dilakukan back analisis dimana hasil dari back analisis tersebut dilakukan penambahan perkuatan pada bagian kaki lereng sungai dengan mini pile 4 meter dengan jarak masing –masing 1 meter yang dikaitkan dengan balok frame. Hasil analisis yang didapat menunjukan aman untuk semua kondisi pelaksanaan.

Kata kunci: Faktor Keamanan , Metode Limit Equilibrium, Sungai, Stabilitas , Slope/W

Abstract

Rivers play an important role in improving the welfare and quality of life of the Indonesian people. In addition, rivers can also cause flooding. The Waridin River is one of the rivers in the Kendal regency area. Flooding is an event where inundation occurs in a flat area around the river due to the overflow of water that the river cannot accommodate. To overcome the flood problem, the addition of parapets and the normalization of the river were carried out. For this reason, it is necessary to analyze the slope stability of the Waridin river from the existing conditions, design and construction conditions by paying attention to 3 (three) modeling conditions. The method used in this analysis is the Limit Equilibrium method, which utilizes software, specifically Geostudio, through the SLOPE/W menu. The analysis was carried out on existing conditions, planning, and construction. This analysis was carried out under normal conditions, earthquakes, and rapids. The results of the existing analysis were obtained that in the condition of the combination of earthquakes, the slope stability was below the safe factor, namely $1.02 < 1.2$. sendang in other conditions tends to be safe. In the planning analysis by combining normalization and the addition of parapets with a 3-meter mini pile foundation, the results of all analysis conditions exceeded the value of the safety factor. Because at the time of construction a landslide occurred, a back analysis was carried out where the results of the back analysis were added reinforcement to the foot of the river slope with a mini pile of 4 meters with a distance of 1 meter each associated with the frame beams. The analysis results obtained show that it is safe for all implementation conditions.

Keywords: Safety Factor, Limit Equilibrium Method, River, Stability, Slope/W



Copyright © 2025 The Author(s)

This is an open access article under the [CC -NC-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) license.

1. PENDAHULUAN

Sungai memiliki peran yang vital dalam meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup masyarakat Indonesia (Kurniawan & Chairunnisa, 2024). Sungai waridin merupakan salah satu sungai yang ada di wilayah kabupaten kendal. Kondisi sungai tersebut selalu mengalami banjir pada saat musim hujan. Banjir adalah kejadian di mana air meluap dari sungai dan menggenangi daerah datar di sekitarnya (Efrizal et al., 2022; Rachmayanti et al., 2022) karena kapasitas sungai tidak mampu menampung volume air tersebut (Awaliyah et al., 2020). Selain itu, kerusakan umumnya terjadi akibat derasnya aliran sungai yang secara perlahan menggerus dasar lereng di kedua sisi sungai, sehingga mempercepat laju erosi secara berkelanjutan (Amir et al., 2024). Mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan penanganan permanen dengan melakukan normalisasi sungai serta penambahan bangunan penahan banjir (Kurniawan & Chairunnisa, 2024). Dengan demikian permasalahan yang terjadi setiap tahunnya dapat teratasi. Dalam upaya tersebut perlu dilakukan analisis dengan berdasarkan pedoman yang ada.

Penelitian yang sudah pernah dilakukan adalah perkuatan lereng sungai Jatiroto bagian hulu di kabupaten Lumajang dengan menggunakan *Software Geostudio* dengan penambahan tanggul sungai (Putra et al., 2023). Sedangkan penelitian pernah dilakukan dengan penambahan *counterweight* dan *soil Nailing* menggunakan *Software Geostudio* (Rina Zusianti et al., 2022) selain itu penelitian perkuatan sungai juga pernah menggunakan tiang pile dengan batuan perangkat lunak pada kondisi muka air normal (Rugad et al., 2019) jika melihat dari alat yang digunakan untuk analisis, penelitian juga dilakukan dengan rancangan perkuatan lereng sungai (Putra et al., 2023) menggunakan dinding penahan tanah tipe gravitasi dengan program bantu *Rocscine Slide* (Prasetyo, 2024).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas lereng dari sungai Waridin tersebut ditinjau dari kondisi eksisting dan perencanaan dan serta saat pelaksanaan desain dengan memperhatikan 3 (tiga) kondisi permodelan yaitu normal, gempa dan *Rapiddrawdown*.

2. METODE

Metode penelitian ini adalah melakukan analisis stabilitas lereng tanah. Analisis stabilitas lereng adalah menentukan faktor keamanan dari bidang longsor. Hal utama yang mempengaruhi stabilitas lereng adalah kuat geser tanah (Kholis et al., 2018), geometrik lereng, tekanan air pori atau rembesan (Wibisono et al., 2022), pembebanan dan kondisi lingkungan. Faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Rina Zusianti et al., 2022). Perbandingan ini akan menghasilkan angka keamanan baik itu 1. Kondisi nilai $FK = 1$ merupakan nilai ideal dimana dapat dikatakan kondisi lereng dalam keadaan kritis (Pengalihan et al., 2024).

Tabel 1. Hubungan Faktor Keamanan Lereng dengan Intensitas Kelongsoran

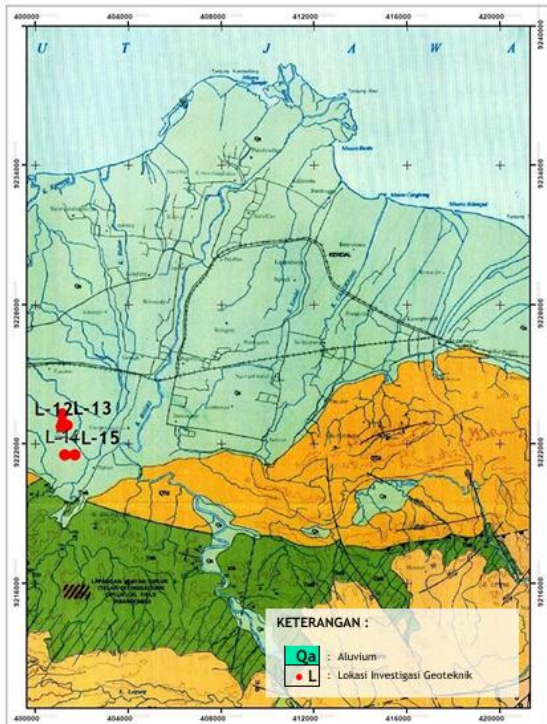
No	Nilai FK	Intensitas Longsor
1	$< 1,07$	Longsor biasa / sering terjadi (lereng labil)
2	$1,07 < FK < 1,25$	Longsor pernah terjadi (lereng kritis)
3	$> 1,25$	Longsor jarang terjadi (lereng stabil)

Analisis ini dilakukan dengan beberapa kombinasi serta beberapa kondisi permodelan menggunakan perangkat lunak berupa *software Geostudio (Slope/W)*. *Geostudio* adalah perangkat lunak geoteknik yang dikembangkan di Kanada (Putra et al., 2023). Pada penelitian ini, *Geostudio* digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng. Untuk melakukan analisis tersebut, digunakan fitur *SLOPE/W*, dengan pendekatan yang diterapkan berupa *Metode Limit Equilibrium* (Rus et al., 2015). Metode Limit Equilibrium merupakan teknik yang didasarkan pada prinsip keseimbangan gaya. Dalam metode ini, terdapat dua asumsi terkait bentuk bidang kelongsoran, yaitu berbentuk melingkar (*circular*) dan tidak melingkar (*non-circular*). *Metode Optimization* memerlukan kondisi aktual untuk meningkatkan efisiensi (Mehrdad Arashpour, Vineet Kamat, Yu Bai, Ron Wakefield, 2018), terutama saat terjadi perubahan sudut. Proses penentuan hasil optimal dilakukan dengan mengevaluasi bentuk kelongsoran, mencari titik kritis, serta

mengoptimalkan perbedaan asumsi gaya di antara irisan bidang. Setelah bidang kelongsoran kritis berbentuk melingkar ditemukan, tahap selanjutnya adalah membagi bidang menggunakan pendekatan *Optimization* (Fajar Sagita et al., 2017). Beberapa parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Investigasi geologi

Kondisi geologi teknik yang ada disekitar sungai dapat dilihat dari peta geologi berikut :



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Magelang-Semarang

Dalam analisis stabilitas lereng, kriteria beban gempa mempertimbangkan beberapa faktor dalam pemilihan parameter evaluasi (Amir et al., 2024). Salah satunya adalah pengaruh tingkat kerusakan, di mana secara geografis, beberapa lokasi lebih rentan mengalami guncangan gempa yang lebih kuat dibandingkan daerah lain. Tingkat kerusakan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan percepatan gempa maksimum (PGA) yang diperkirakan akan terjadi pada kondisi *Maximum Design Earthquake* (MDE) (Hidayawan et al., 2024).

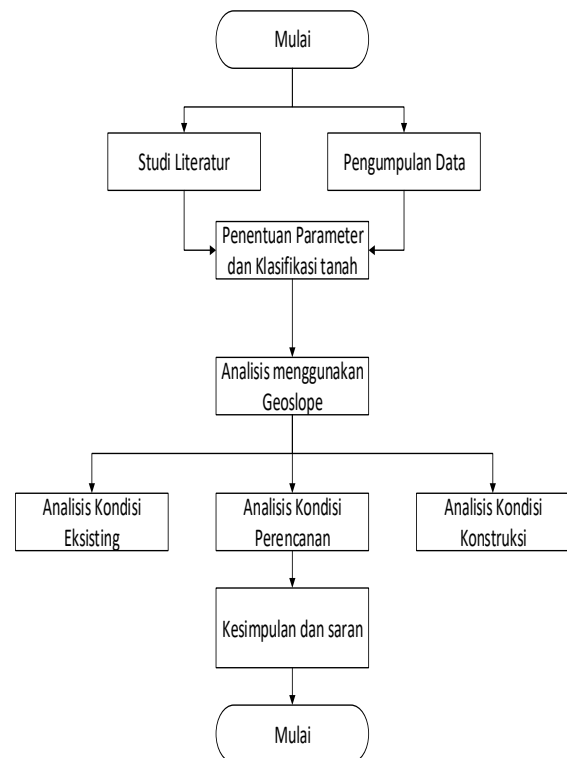
Analisis yang dilakukan juga menggunakan analisis balik. Analisis balik (Back analysis) adalah metode yang digunakan untuk menentukan parameter geoteknik penyusun lereng, seperti kohesi (c) dan sudut geser dalam

(ϕ), pada saat lereng mengalami kelongsoran (failure). Analisis ini difokuskan pada lapisan terlemah dari lereng, di mana bidang lemah tersebut dijadikan acuan bidang gelincir yang disesuaikan dengan kondisi lapangan.

Tabel 2. Tingkat kerusakan menurut besarnya PGA (Peak ground acceleration)

No	Percepatan gempa maksimum (PGA= a_d)	Klasifikasi tingkat Kerusakan
1	PGA < 0,1 g	I (Rendah)
2	$0,10 \leq \text{PGA} < 0,25\text{g}$	II (Moderat)
3	PGA $\geq 0,25\text{g}$ Tidak terdapat Sesaran aktif dalam jarak 10 km dari lokasi	III (Tinggi)
4	PGA $\geq 0,25\text{g}$ Sesaran aktif dalam jarak 10 km dari lokasi	IV (Ekstrem)

Proses analisis dilakukan dengan melakukan percobaan untuk memperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) (Kholis et al., 2018) sehingga faktor keamanan lereng (FK) mencapai atau mendekati angka 1 (Pengalihan et al., 2024).



Gambar 2. Tahap Penelitian

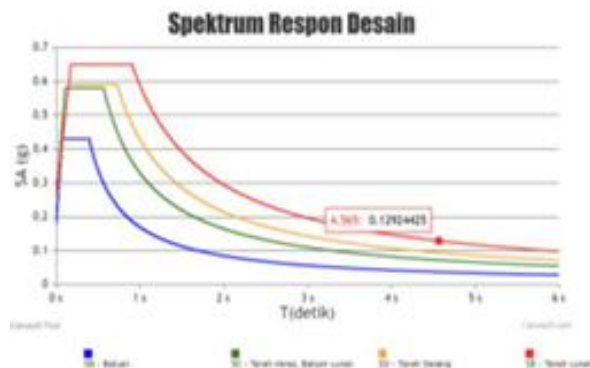
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang dilakukan dimulai dengan menentukan kondisi tanah berdasarkan hasil investigasi geoteknik yang dilakukan di lokasi (Bagas Wahyu Adhi, 2022). Berikut ini hasil kondisi parameter tanah berdasarkan uji laboratorium:

Tabel 3. Parameter Tanah hasil uji Laboratorium

No	Parameter Tanah	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2
1	Berat Volume (γ)	kN/m ³	18	18
2	Kohesi (c)	kPa	10	11
3	Geser (ϕ)	°	11	11

Berdasarkan hasil uji laboratorium didapatkan hasil parameter tanah dengan nilai sudut geser kecil sehingga kondisi butiran mudah terlepas antara satu dengan yang lainnya. Hasil ini dilakukan dengan pendekatan investigasi geoteknik. Pada tahapan analisis yang dilakukan dengan menggunakan parameter percepatan respons Spektrum (Chris Salim Susanto, Norman Ray, 2018) sebagai berikut:



Gambar 3. Nilai Percepatan puncak dipermukaan (g)

Nilai koefisien seismik (k_h) dapat dihitung menggunakan rumus :

$$k_h = 0.5 \times \text{PGA}$$

Dimana :

K_h : Koefisien Seismik

PGA : percepatan puncak dipermukaan (g)

Sehingga

$$K_h = 0.5 \times 0.3155$$

$$: 0.158$$

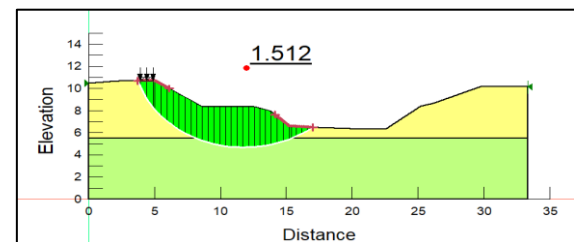
Pembebanan

Analisis stabilitas lereng perlu mempertimbangkan beban hidup (live load), beban mati (dead load), dan beban gempa sesuai dengan fungsi lereng, baik pada galian maupun timbunan. Beban tambahan (surcharge load) sebesar 10 kN/m² harus diterapkan untuk memperhitungkan beban di atas permukaan lereng, kecuali ada ketentuan lain sesuai peruntukannya. Dalam analisis pseudostatik untuk lereng galian maupun timbunan, penggunaan beban gempa yang lebih spesifik disarankan, dengan mempertimbangkan kondisi geologi, tingkat kegempaan daerah, serta tingkat kepentingan lereng tersebut.

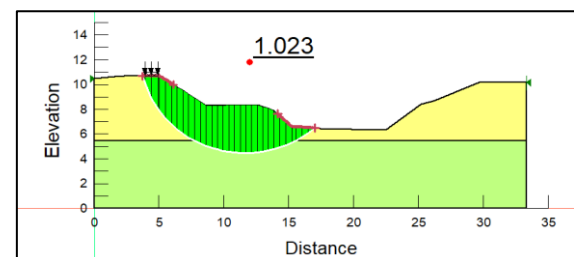
Rapiddrawdown

Dalam analisis stabilitas lereng, salah satu kondisi kritis yang perlu diwaspadai adalah terjadinya Rapid Drawdown atau penurunan muka air secara cepat (Islami et al., 2015)

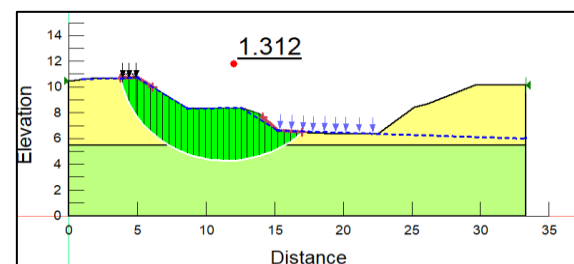
Kondisi Eksisting



Gambar 3. Hasil Analisis Geoslope Pada Kondisi Nomal



Gambar 4. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Gempa



Gambar 5. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Rapiddrawdown

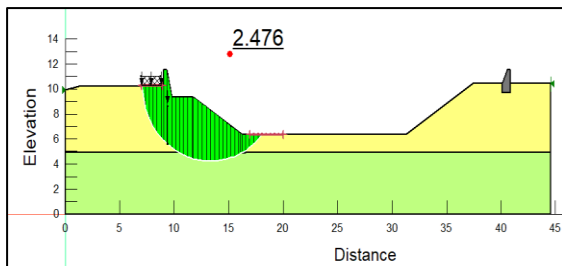
Tabel 3. Resume Hasil Analisis Geoslope Kondisi Eksisting

No	Kondisi	Safety Factor Analisis	Safety Factor Ijin	Keterangan
1	Normal	1.51	1.5	Aman
2	Gempa	1.02	1.2	Tidak Aman
3	Rapid drawdown	1.31	1.3	Aman

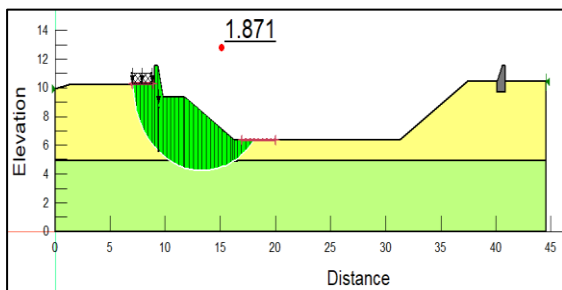
Berdasarkan hasil yang dilakukan dengan menggunakan bantuan software(Nugroho et al., 2021) diketahui bahwa kondisi lereng sungai mengalami kelongsoran apabila terjadi gempa.

Kondisi Perencanaan

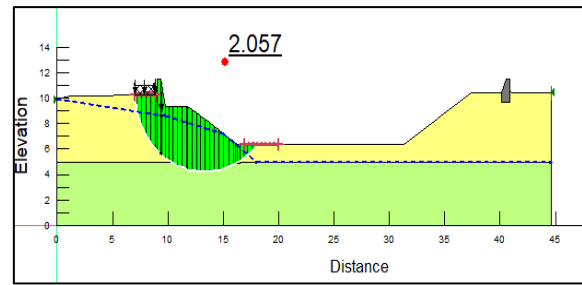
Analisis yang dilakukan pada sungai waridin dilakukan dengan menggabungkan antara normalisasi dengan penambahan parapet setinggi 1.75 meter dengan pondasi minipile dengan jarak 3 meter. *Pile* digunakan untuk menstabilkan pergerakan tanah aktif yang mengalami kelongsoran. Pada stabilitas lereng, pile biasanya menerima beban dari gaya lateral akibat pergeseran horizontal(Rus et al., 2015) tanah di sekitarnya, sehingga dikenal dengan istilah pile pasif (Rugad et al., 2019). Berikut ini analisis yang dilakukan dengan menggunakan software geoslope:



Gambar 6. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Normal



Gambar 7. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Gempa



Gambar 7. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Rapid drawdown

Tabel 4. Resume Hasil Analisis Geoslope Kondisi Perencanaan

No	Kondisi	Safety Factor Analisis	Safety Factor Ijin	Keterangan
1	Normal	2.47	1.5	Aman
2	Gempa	1.87	1.2	Aman
3	Rapid drawdown	2.05	1.3	Aman

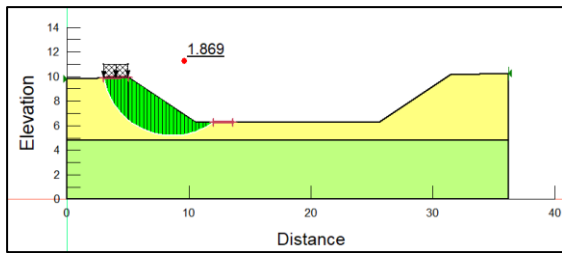
Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan mengkombinasikan antara normalisasi sungai serta penambahan *parapet* serta *mini pile* diperoleh hasil dengan kondisi memenuhi batas minimal nilai faktor aman lereng (Rina Zusianti et al., 2022).

Kondisi Konstruksi

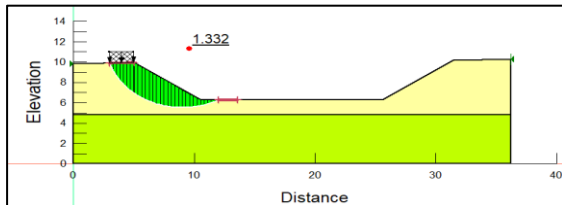
Pada saat pelaksanaan yang dilakukan normalisasi dengan memperhatikan sudut kemiringan 1: 5 terjadi kelongsoran pada beberapa titik sehingga mengakibatkan berhentinya proses pekerjaan. Kemudian dilakukan analisis kembali dengan menggunakan *Back Analysis* Untuk mengetahui nilai parameter kuat geser tanah (kohesi dan sudut geser dalam) pada kondisi kritis sesaat sebelum terjadinya kelongsoran maka dilakukan perhitungan back analysis dengan cara *trial and error* untuk masing-masing parameter tanah sehingga di dapatkan kondisi FK=1 atau mendekati 1 pada saat dilakukan perhitungan kondisi kestabilan lereng.

Tabel 5. Parameter Tanah Hasil Back Analysis

No	Parameter Tanah	Satuan	Lapisan 1	Lapisan 2
	Berat			
1	Volume (γ)	kN/m ³	16.5	16.1
2	Kohesi (c)	kPa	8	9
3	Geser (ϕ)	°	7	7



Gambar 8. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Nomal pada saat normalisasi

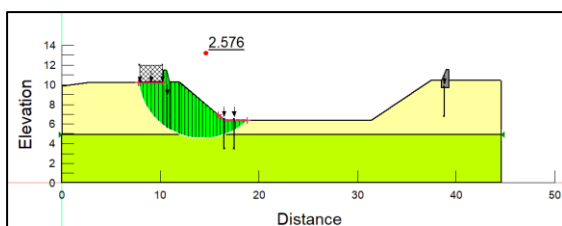


Gambar 9. Hasil Back analisis dengan Geoslope pada Kondisi Normal

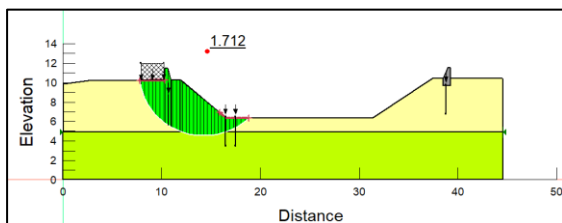
Tabel 5. Resume Hasil Analisis Geoslope Kondisi back Analisis saat kontruksi

No	Kondisi	Safety Factor Analisis	Safety Factor Ijin	Keterangan
1	Normal Back	1.86	1.5	Aman
2	analisa Normal	1.33	1.5	Tidak Aman

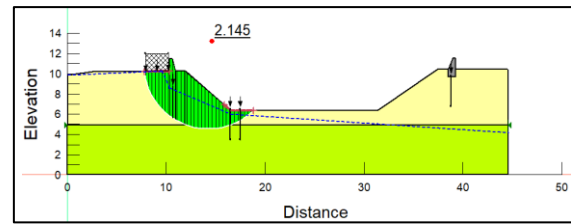
Hasil analisis secara *back analisis* yang dilakukan didapatkan hasil bahwa kondisi normal nilai faktor keamanan kurang dari 1.5 tepatnya mendapat nilai 1.33



Gambar 10. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Normal dengan penambahan Mini Pile



Gambar 11. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Gempa dengan penambahan Mini Pile



Gambar 12. Hasil Analisis Geoslope Kondisi Rapiddrawdown dengan penambahan Mini Pile

Tabel 5. Resume Hasil Analisis Geoslope Kondisi Kontruksi

No	Kondisi	Safety Factor Analisis	Safety Factor Ijin	Keterangan
1	Normal	2.57	1.5	Aman
2	Gempa	1.75	1.2	Aman
3	Rapid drawdown	2.14	1.3	Aman

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dengan melakukan penambahan mini pile pada bagian bawah lereng dengan jarak antar pile 1 meter sudah melewati angka faktor keamanan yang dipersyaratkan

4. SIMPULAN

Stabilitas lereng merupakan kunci dalam keberhasilan suatu perencanaan serta penerapan dalam upaya menyelesaikan permasalahan geoteknik. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil analisis yang dilakukan pada kondisi eksisting didapatkan hasil pada kondisi kombinasi gempa kestabilan lereng berada di bawah faktor aman yaitu $1.02 < 1.2$. sedangkan pada kondisi normal nilainya berada di atas nilai daktor aman yaitu $1.52 > 1.5$. sedangkan untuk hasil analisis pada kondisi rapiddrawdown didapatkan hasil $1.31 > 1.30$.
2. Analisis yang dilakukan pada tahap perencanaan dilakukan dengan mengkombiinasikan perkuatan parapet dengan pondasi mini pile sepanjang 4 meter serta dilakukan normalisasi sungai didapatkan hasil pada kondisi normal $2.47 > 1.5$, untuk analisa pada kondisi gempa didapatkan hasil $1.87 > 1.2$ dan untuk hasil analisa pada kondisi rapiddrawdown didapatkan nilai angka keamanan $2.05 > 1.3$
3. Analisa yang dilakukan akibat terjadi kelongsoran pada saat kontruksi dilakukan dengan back analisis didapatkan nilai

parameter tanah yaitu berat jenis tanah (γ) = 16.5 kN/m³ untuk lapisan tanah 1 sedangkan lapisan tanah 2 adalah 16.1 kN/m³. Untuk parameter Kohesi (c) pada lapisan tanah 1 adalah 8 kPa, untuk lapisan tanah 2 adalah 9 kPa. Hasil yang didapat pada parameter tanah pada sudut Geser (ϕ) adalah 7° untuk lapisan tanah 1 dan lapisan tanah 2.

4. Berdasarkan hasil analisis pasca terjadinya longsor dengan menggunakan data tanah hasil back analisis maka dilakukan penambahan mini pile di bagian bawah tanggul dengan pengikat balok frame beton dengan jarak masing-masing 1 meter didapatkan hasil yaitu nilai faktor keamanan $2.57 > 1.5$ untuk kondisi normal. Untuk kondisi gempa didapatkan nilai $1.75 > 1.3$. sedangkan pada kondisi rapiddrawdown didapatkan hasil $2.14 > 1.3$.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Dinas Pekerjaan Umum sumberdaya air provinsi Jawa Tengah serta konsultan Jati Utama yang memberikan suport data-data yang diperlukan dalam penulisan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amir, M., Musa, R., & Mallombassi, A. (2024). *Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Software Geoslope pada Sungai Rongkong (Kabupaten Luwu Utara)*. 06(1), 113–126.
- Awaliyah, N., Ariyaningsih, A., & Ghazali, A. (2020). Analisis Faktor yang Berpengaruh Terhadap Terjadinya Banjir di DAS Ampal/Klandasan Besar dan Kesesuaian Program dengan Faktor Penanganannya. *Jurnal Penataan Ruang*, 15(2), 57. <https://doi.org/10.12962/j2716179x.v15i2.7376>
- Bagas Wahyu Adhi. (2022). Analisa Stabilitas Timbunan di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan Limestone dengan Software Plaxis. *Jurnal Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil (MoDuluS)*, 4(1), 40–45.
- Chris Salim Susanto, Norman Ray, L. S. B. W. (2018). Perencanaan Struktur Atas Gedung Medic Center Rumah Sakit Mata Undaan Kota Surabaya. *Seminar Nasional Ilmu ...*, 19, 1–4. <https://ojs.widyakartika.ac.id/index.php/sniter/article/view/67>
- Efrizal, E., Saputro, Y. A., & Hidayati, N. (2022). Implementasi Software Hec-Ras 4.1. 0 Dan Epa Storm Water Management Model (Swmm) 5.1. 0 Pada Efektivitas Analisis Saluran Drainase (Studi Kasus Desa Kelet Jepara). *Jurnal Civil Engineering Study*, 02. <https://journal.unisnu.ac.id/CES/article/view/222%0Ahttps://journal.unisnu.ac.id/CES/article/download/222/134>
- Fajar Sagita, E., Surjandari, N. S., & Purwana, Y. M. (2017). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Bronjong Menggunakan Software Geoslope Di Desa Tambakmerang, Girimarto, Wonogiri. *E-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL*, 118–123.
- Hidayawan, A., Kurniawan, A., Adhi, B. W., Setiyanto, B., Rahayu, H., Program, F., Teknikasipil, S., Surakarta, U. B., & Pidekso, B. (2024). *Analisis Penentuan Parameter Gempa Untuk Perhitungan Stabilitas Bendungan*. 6(1), 1–7.
- Islami, A. N. Al, Suryo, E. A., & Rachmansyah, A. (2015). *Analisis Stabilitas Bendungan Selorejo Akibat Rapid Drawdown Berdasarkan Hasil Survey Electrical Resistivity Tomography (Ert)*.
- Kholis, N., Setyowati, A., Gunarti, S., & Sylviana, R. (2018). Stabilisasi Tanah Lempung Menggunakan Semen Dan Renolith Clay Soil Stabilization Using Cement and Renolith. *Bentang*, 6(1), 62–77.
- Kurniawan, A., & Chairunnisa, N. (2024). Review Design dalam Rangka Penanggulangan Banjir di Kali Jeroan Kabupaten Madiun. *Jurnal Teknologi Berkelanjutan*, 13(01), 37–44. <https://doi.org/10.20527/jtb.v13i01.272>
- Mehrdad Arashpour, Vineet Kamat, Yu Bai, Ron Wakefield, B. A. (2018). Optimization modeling of multi-skilled resources in prefabrication: Theorizing cost analysis of process integration in off-site construction. *Automation in Construction*, 95(February), 1–9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.027>
- Nugroho, R. A., Hidayati, N., & Saputro, Y. A. (2021). Perencanaan Struktur Gedung 9 Lantai Hotel Sky Sea View Jepara. *Jurnal Civil Engineering Study*, 01(01), 34–46.
- Pengalihan, P., Araren, S., Kabupaten, D., Utara, M., Sumampouw, A. N., Legrans, R. R. I., & Sarayar, A. N. (2024). *Stabilisasi Lereng Galian Dengan Perkuatan Shotcrete*. 22(90).
- Prasetyo, S. R. B. (2024). No TitleEAENH. *Ayan*, 15(1), 37–48.
- Putra, A. R., Asmaranto, R., & Suprijanto, H.

- (2023). Analisis Stabilitas Perkuatan Lereng Sungai Jatiroto Bagian Hulu Kabupaten Lumajang dengan Menggunakan Software Geostudio. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(1), 169–180. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.01.16>
- Rachmayanti, H., Musa, R., & Mallombasi, A. (2022). Studi Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Dengan Menggunakan Software HEC HMS (Studi Kasus DAS Saddang). *Jurnal KONSTRUKSI*, 01(01), 1–9.
- Rina Zusianti, Luthfi Amri Wicaksono, & Paksitya Purnama Putra. (2022). Penggunaan Counterweight Dan Soil Nailing Sebagai Alternatif Perkuatan Lereng Sungai Gandong Magetan Jawa Timur Pasca Longsor. *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 11(2), 214–221. [https://doi.org/10.22225/pd.11.2.5534.214-](https://doi.org/10.22225/pd.11.2.5534.214-221)
- 221
- Rugad, S., Fjtd, K., & Edwd, S. (2019). Analisa Distribusi Kecepatan Aliran di Tikungan Sungai Metro Kota Malang Jawa Timur dengan Model Delft3D. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, Vol. X, 1–6.
- Rus, T. Y., Suyadi, W., & Munawir, A. (2015). Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Soil Nailing Dengan Bantuan Perangkat Lunak Slope/W (Studi Kasus Pada Sungai Parit Raya). *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(3), pp.995-1005.
- Wibisono, A., Fitriani, E. N., & Wibowo, P. D. (2022). Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Ecodrain) Di Depo Back Up Area Kbn Sbu Kawasan Marunda. *Konstruksia*, 14(1), 40. <https://doi.org/10.24853/jk.14.1.40-50>