

ANALISIS REDESAIN ALTERNATIF PERKUATAN DINDING PENAHAN TANAH MENGGUNAKAN PERBANDINGAN PERHITUNGAN TEORITIS DAN APLIKASI KOMPUTER PADA RUAS JALAN NASIONAL TRENGGALEK-PONOROGO KM. 23+650

Titin Fauziana

Mahasiswa S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

titinfauziana16050724034@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Firmansyah S. ST., MT., M.Sc

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Tanah longsor yang terjadi dengan ketinggian lereng 7 m pada tahun 2010 di daerah Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650, Desa Pangkal, Kabupaten Ponorogo mengakibatkan hampir separuh dari badan jalan terkikis dan menyebabkan kemacetan arus lalu lintas. Penyebab yang terjadi diduga dikarenakan intensitas curah hujan yang tinggi sehingga tanah tidak dapat menampung air hujan. Pada tahun 2011 telah dilakukan penelitian mengenai perkuatan tanah oleh Dedy Dharmawangsa tentang alternatif desain dengan beberapa perkuatan yaitu dinding geotekstil, *minipile* serta *sheetpile*. Sehingga pada penelitian ini dilakukan pengembangan alternatif desain perkuatan tanah yang bertujuan untuk mengetahui perencanaan dinding penahan tanah yang dapat baik dalam redesain perkuatan tanah lereng dan nilai angka keamanan yang diperoleh dari alternatif dinding penahan tanah dalam redesain perkuatan tanah lereng terhadap geser, guling, dan keruntuhan tanah mengingat kondisi tanah lereng pada saat ini yang masih dikategorikan dalam kondisi kritis mengalami kelongsoran kembali dikarenakan pergerakan tanah dan curah hujan yang sangat tinggi. Penelitian ini menggunakan metode yaitu metode Rankine untuk perhitungan teoritis terhadap stabilitas dinding penahan tanah dan menggunakan perangkat lunak komputer yaitu *Plaxis*. Hasil analisis yang diperoleh untuk angka keamanan pada alternatif 1 yaitu dinding penahan tanah kantilever sandaran sebesar $5.357 \geq 1.5$ (aman), stabilitas terhadap geser $6.493 \geq 1.5$ (aman), stabilitas terhadap guling $9.475 \geq 1.5$ (aman), dan keruntuhan daya dukung tanah sebesar $3.780 \geq 1.5$ (aman). Pada alternatif 2 yaitu dinding penahan kantilever diperoleh sebesar $5.835 \geq 1.5$ (aman), stabilitas terhadap geser $2.074 \geq 1.5$ (aman), stabilitas terhadap guling $2.810 \geq 1.5$ (aman) dan keruntuhan tanah sebesar $5.827 \geq 1.5$ (aman). Dari perolehan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa perkuatan dinding penahan tanah untuk lereng dapat menggunakan perkuatan tanah alternatif 2 dikarenakan peroleh angka keamanan yang lebih besar menurut program *Plaxis* sebesar $5.835 \geq 1.5$ (aman) dibandingkan dengan alternatif 1 sebesar $5.357 \geq 1.5$ (aman).

Kata Kunci: Longsor, Lereng, Dinding Penahan Tanah, dan Aplikasi Komputer

Abstract

Landslides that occurred with an altitude of 7 m in 2010 on the Trenggalek-Ponorogo National Road KM. 23 + 650, Pangkal Village, Ponorogo Regency, which caused almost half of the road body to be eroded and caused traffic jams. The cause that occurs is assumed to be due to the high intensity of rainfall so that the soil cannot accommodate rainwater. In 2011, a research on soil reinforcement by Dedy Dharmawangsa was conducted on alternative designs with several reinforcement, namely geotextile walls, minipiles and sheetpiles. So that in this study, the development of other alternatives for soil reinforcement which aims to determine the planning of retaining wall which can be either in redesigning soil reinforcement slopes and the numerical value of security derived from alternative retaining wall in redesigning soil reinforcement slope against sliding, rolling, and the collapse of the soil considering the slope soil conditions at this time which are still categorized as in critical condition experiencing landslide again due to soil movement and very high rainfall. This study used the Rankine method for theoretical calculations of the stability of retaining walls and using computer software, namely Plaxis. The analysis results obtained for the safety factor in alternative 1, namely the cantilevered backrest retaining wall of $4,890 \geq 1.5$ (safe), shear of stability is $6,493 \geq 1.5$ (safe), stability to overturning is $9,475 \geq 1.5$ (safe), soil bearing capacity is $3,780 \geq 1.5$ (safe). In alternative 2, the cantilever retaining wall is $5,835 \geq 1.5$ (safe), shear of stability is $2,074 \geq 1.5$ (safe), stability to overturning is $2,810 \geq 1.5$ (safe) and soil bearing capacity is $5,827 \geq 1.5$ (safe). From the results of the analysis, it can be concluded that the retaining wall reinforcement for slopes can use alternative 2 soil reinforcement due to the greater safety factor according to the Plaxis program of $5,835 \geq 1.5$ (safe) compared to alternative 1 of $5,357 \geq 1.5$ (safe).

Keywords: *Landslide, Slope, Retaining Wall, and Computer Applications*

PENDAHULUAN

Bencana alam yang sering terjadi salah satunya di daerah Pulau Jawa yaitu tanah longsor, termasuk pada bidang geoteknik yang biasanya dikarenakan intensitas curah hujan tinggi, perubahan tata guna lahan dan gempa bumi, selain itu bisa diakibatkan juga oleh kegiatan manusia yaitu pada saat dilakukan penimbunan tanah dan pada saat terdapat pengerjaan tanah di bidang konstruksi.

Tanah longsor yang pernah terjadi pada pertengahan tahun 2010 di daerah lereng Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 mengakibatkan hampir separuh tanah dari badan jalan terkikis dan menyebabkan arus lalu lintas terhambat. Penyebab dari tanah longsor diduga dikarenakan intensitas curah hujan yang tinggi dan tanah tidak dapat menampung air hujan. Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur telah melakukan perbaikan perkuatan tanah lereng dari kedalaman 3.5 m hingga 7 m dengan menggunakan konstruksi dinding penahan tanah dan penggunaan gabion. Selama masa penggunaan, konstruksi dinding penahan tanah yang terpasang sudah tidak berfungsi secara baik dikarenakan terdapat retakan pada konstruksi tersebut dan dikhawatirkan dapat menyebabkan kelongsoran kembali.

Pada tahun 2011 telah dilakukan penelitian oleh Dedy Dharmawansyah alumni dari Institut Teknologi Surabaya dengan judul tugas akhir Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 menggunakan beberapa alternatif perkuatan tanah yaitu perkuatan perkuatan geotekstil, perkuatan *minipile* dan juga *sheetpile* dengan angka keamanan yang diperoleh dari alternatif 1 menggunakan konstruksi *minipile* sebesar 1.378, alternatif 2 menggunakan konstruksi *minipile* dan *sheetpile* sebesar 1.6927, dan penggunaan alternatif 3 yaitu konstruksi *minipile* dan *sheetpile* sebesar 1.657.

Pada penelitian ini akan dilakukan redesain pengembangan alternatif perkuatan lereng mengingat kondisi tanah lereng pada saat ini yang masih dikategorikan dalam kondisi kritis mengalami kelongsoran kembali dikarenakan pergerakan tanah dan curah hujan yang sangat tinggi dengan menggunakan dinding penahan tanah kantilever yang diharapkan dapat menahan beban sendiri serta kendaraan dan juga mencegah terjadinya kelongsoran dari bahaya geser, guling dan keruntuhan tanah.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perencanaan dinding penahan tanah yang tepat dan aman dan dapat mengetahui nilai angka keamanan yang diperoleh dari stabilitas

dinding penahan tanah ditinjau pula dengan stabilitas guling, stabilitas geser dan keruntuhan daya dukung tanah.

Dari permasalahan yang telah diketahui di latar belakang didapatkan rumusan masalah yaitu: (1) Bagaimana desain dinding penahan tanah yang dapat digunakan dalam redesain perkuatan tanah lereng? (2) Berapa nilai angka keamanan yang diperoleh dari alternatif dinding penahan tanah dalam redesain perkuatan tanah lereng?

Dari hasil analisis yang diperoleh diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain: (1) Dapat dijadikan referensi dalam perencanaan dinding penahan tanah yang sesuai dengan peraturan yang ada. (2) Dapat mengetahui nilai angka keamanan dan juga hasil stabilitas terhadap guling, stabilitas terhadap geser, dan stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah pada redesain dinding penahan tanah yang sesuai dengan syarat yang telah ditentukan.

Batasan masalah antara lain: (1) Data yang digunakan ialah data sekunder yang didapatkan dari Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur. (2) Perkiraan pemodelan lapisan tanah disamakan dengan penelitian sebelumnya yaitu Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 oleh Dedy Dharmawangsa. (3) Alternatif perkuatan lereng yang dianalisis yaitu perkuatan dinding penahan tanah kantilever. (4) Analisis perhitungan pada tekanan tanah lateral, stabilitas terhadap geser, guling, dan keruntuhan tanah. (5) Menggunakan salah satu data hasil pengeboran tanah pada Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650. (6) Data tanah yang digunakan untuk kedalaman -7 meter dari permukaan jalan hasil dari gabungan menurut Das (2006) dan AS 4678 (2002). (7) Tidak meninjau aliran permukaan, pengaruh aliran tanah maupun rembesan.

Lereng

Lereng adalah suatu permukaan bumi yang terdiri dari tanah dan batuan, lereng dapat terbentuk oleh alam dan dapat juga oleh kesengajaan manusia. Dalam analisisnya kestabilan lereng didasarkan pada peraturan perkerjasama geoteknik dengan prinsip ilmu mekanik tanah dan batuan. (Hardiyatmo (2003) Kelongsoran terjadi pada setiap macam-macam lereng, yang disebabkan oleh berat tanah sendiri, rembesan air tanah, serta gaya dari luar lereng.

Lereng biasanya mengalami keruntuhan berdasarkan kestabilan dari tanah yang memiliki faktor keamanan kurang dari angka yang telah disyaratkan, sedangkan lereng yang memiliki kondisi stabil memiliki faktor keamanan yang

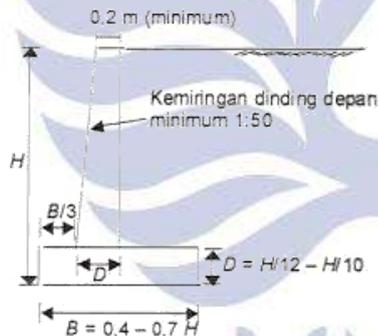
besar dan dianggap tidak mengalami pergerakan pada tanah. Namun, lereng dengan kondisi stabil masih memiliki kemungkinan mengalami kelongsoran kembali disebabkan dengan perolehan faktor keamanan yang kecil.

Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng digunakan untuk menentukan angka keamanan lereng dari hasil analisis lereng yang longsor. Terdapat beberapa anggapan tentang analisis stabilitas lereng yaitu kelongsoran pada tanah lereng terjadi di sepanjang permukaan tanah, tahanan geser dari massa tanah yang dianggap seragam dalam segala arah, dan faktor aman dari sepanjang bidang longsor. (Hardiyatmo, 2002)

Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah biasanya digunakan untuk menahan tekanan dari tanah lateral yang berasal dari tanah yang tidak stabil. Dinding penahan ini banyak digunakan pada konstruksi proyek seperti jalan tol, pelabuhan, dan gedung. Kestabilan pada dinding penahan tanah didapatkan dari berat sendiri dinding penahan tanah, dari beban yang ditopang di atasnya dan juga dari tekanan lateral yang bergerak ke dinding penahan tanah. (Hardiyatmo, 2010)



Gambar 1. Estimasi Dimensi Dinding Penahan Tanah Kantilever

(Sumber: Buku Analisis dan Perancangan Fondasi oleh Hary Christady Hardiyatmo)

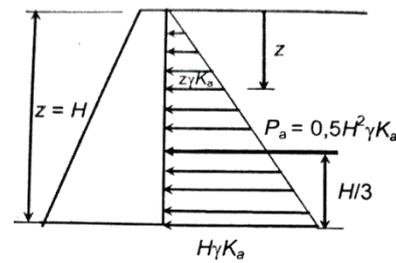
Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral sangat dibutuhkan untuk menganalisis perencanaan dinding penahan tanah. Tekanan tanah aktif total (P_a) menurut teori Rankine, dapat digunakan persamaan rumus:

$$P_a = 0.5 \cdot H^2 \cdot \gamma \cdot K_a$$

Koefisien tekanan tanah aktif (K_a) dengan rumus:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right)$$



Gambar 2. Diagram tekanan untuk permukaan tanah urug horizontal

(Sumber: Buku Analisis dan Perancangan Fondasi oleh Hary Christady Hardiyatmo)

Stabilitas Dinding Penahan Tanah

Pada stabilitas dinding penahan tanah, gaya yang bekerja terhadap dinding penahan yaitu berat sendiri dari dinding penahan tanah (W) dan gaya dari tekanan tanah aktif total tanah (P_a). (Hardiyatmo, 2003). Perhitungan analisis stabilitas dinding penahan tanah, yaitu:

1. Stabilitas terhadap Penggeseran

Angka keamanan dari stabilitas penggeseran dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h}$$

Faktor keamanan terhadap penggeseran (F_{gs}) (Bowles, 1997), yaitu:

$$F_{gs} \geq 1.5 \text{ (tanah granuler)}$$

$$F_{gs} \leq 2 \text{ (tanah kohesif)}$$

2. Stabilitas terhadap Penggulingan

Stabilitas penggulingan terjadi diakibatkan oleh momen dari berat sendiri dinding penahan dan juga beban yang terdapat di atas dinding. Angka keamanan terhadap penggulingan dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}}$$

Faktor keamanan terhadap penggulingan (F_{gl}), yaitu:

$$F_{gl} \geq 1.5 \text{ (tanah granuler)}$$

$$F_{gl} \geq 2 \text{ (tanah kohesif)}$$

3. Stabilitas terhadap Keruntuhan Kapasitas Dukung Tanah

Angka keamanan dari keruntuhan dukung tanah dapat dihitung menggunakan rumus:

$$F_s = \frac{q_u}{q} \geq 3$$

Perhitungan kapasitas dukung ultimat (q_u) untuk pondasi yang berada dibawah permukaan tanah menurut metode Hansen (1970), digunakan persamaan:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0.5 B_\gamma N_\gamma$$

Dan untuk tekanan struktur pada tanah dasar pondasi menggunakan persamaan Meyerhof, dapat dihitung sebagai berikut:

$$q = \frac{V}{B'}$$

Aplikasi Komputer (*Plaxis 8.6*)

Terdapat banyak program komputer untuk menganalisis stabilitas suatu lereng salah satunya yaitu *Plaxis*. *Plaxis* merupakan sebuah program yang dapat digunakan dalam menganalisis suatu lereng dengan menggunakan pemodelan secara

grafis dan perhitungan dengan pemodelan elemen hingga, sehingga dapat dilakukan dengan cepat dan menampilkan hasil secara mendetail.

Studi Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian ini digunakan beberapa studi penelitian terdahulu untuk dijadikan acuan dan referensi dalam pengerjaan hasil analisis data. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan pembahasan berkaitan dengan perkuatan tanah menggunakan dinding penahan tanah kantilever dengan perbedaan bentuk dinding penahan beserta cara penyelesaiannya. Berikut adalah ringkasan dari jurnal terkait yang menunjang penelitian mengenai stabilitas dinding penahan tanah lereng dengan perbandingan perhitungan teoritis dan pengaplikasian komputer.

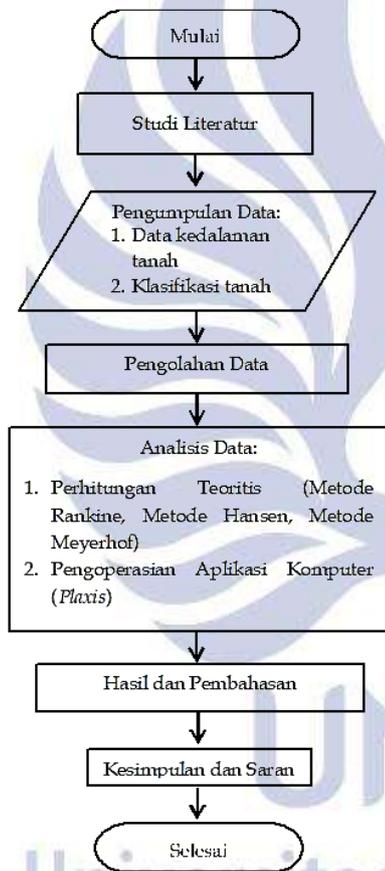
Tabel 1 – Studi Penelitian Terdahulu

No.	Penulis/Tahun	Judul	Hasil
1.	Tjokorda Gde Suwarsa Putra, Made Dodiek Wiryana Ardana, dan Made Aryati (2010)	Analisis Stabilitas Lereng pada Badan Jalan dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah	Hasil analisis diperoleh nilai keamanan dengan dinding penahan tanah kantilever setinggi 1.5 m di atas badan jalan dengan nilai keamanan pada stabilitas terhadap guling $4.918 > 1.5$, stabilitas terhadap geser $1.675 > 1.5$ dan stabilitas terhadap daya dukung tanah minimum yaitu $1.921 \text{ t/m}^2 > 0$ dan maksimum yaitu $4.372 \text{ t/m}^2 < \sigma = 7.167 \text{ t/m}^2$.
2.	Abdul Hakam, Rizki Pranata Mulya (2011)	Studi Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever pada Ruas Jalan Silang Padang Bukit Tinggi	Faktor keamanan terhadap stabilitas tanah pada penelitian ini menggunakan metode <i>Slices</i> yang diperoleh faktor keamanan sebesar 9.053, dan untuk stabilitas terhadap guling didapatkan sebesar 3.547, terhadap geser sebesar 2.559, dan daya dukung tanah sebesar 15.094.
3.	Dedy Dharmawangsa (2011)	Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650	Hasil analisis yang diperoleh pada tanah lereng asli sebesar 1.088 dan perkuatan eksisting sebesar 1.13 sehingga diperlukan perkuatan tanah. Pada alternatif 1 yaitu menggunakan konstruksi <i>minipile</i> sebesar 1.378, alternatif 2 yaitu konstruksi <i>minipile</i> dan <i>sheetpile</i> sebesar 1.693, dan alternatif 3 yaitu konstruksi <i>minipile</i> dan <i>sheetpile</i> sebesar 1.657. Dari hasil analisis digunakan alternatif 3 sebagai perkuatan tanah lereng.
4.	Anto Budi Listyawan, Suhendro Trinugroho, Arya Nugraha (2013)	Desain Dimensi Dinding Penahan Tanah dengan Menggunakan Program <i>Geo 5</i>	Hasil dari perhitungan manual terhadap guling didapatkan sebesar 3.945, terhadap geser didapatkan sebesar 2.475, dan terhadap daya dukung tanah didapatkan sebesar 4.874. Sedangkan dalam program <i>Geo 5</i> terhadap guling didapatkan 2.01, terhadap geser didapatkan 2.32, dan terhadap daya dukung tanah didapatkan sebesar 5.11.
5.	Abdul Hakim, Kusnul Prianto (2017)	Analisa Stabilitas Dinding Penahan Tanah (DPT) Pasangan Batu:	Hasil analisis didapatkan nilai stabilitas bangunan DPT pasangan batu diperoleh nilai keamanan terhadap guling sebesar 4.5, terhadap geser

		Studi Kasus Longsoran di Desa Jeru Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang	sebesar 2.5, dan eksintrisitas dan daya dukung tanah sebesar 3.94. Sedangkan analisis menggunakan <i>software Plaxis</i> diperoleh angka keamanan stabilitas lereng sebesar 2.108. Dari hasil perhitungan dan analisis <i>Plaxis</i> menunjukkan bahwa desain struktur bangunan DPT pasangan batu dinyatakan aman.
--	--	---	--

METODE

Penelitian ini menggunakan data kuantitatif yaitu berupa angka, mulai dari sumber data hingga keluaran hasil data yang diperoleh. Metode yang digunakan yaitu perhitungan teoritis seperti metode Rankine, metode Hansen dan metode Meyerhof dan pemrograman aplikasi *Plaxis* untuk pengoperasian dengan komputer. Prosedur penelitian secara sistematis terdapat pada Gambar 3, berikut ini.



Gambar 3. *Flowchart* penelitian

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650, Dusun Nglumpang, Desa Pangkal, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur.

Sumber Data dan Pengumpulam Data

Data pada penelitian terdiri dari data kedalaman dan klasifikasi tanah yang diperoleh dari Dinas

Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur untuk daerah Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650.

Perencanaan Struktur Dinding Penahan Tanah

Perencanaan struktur dinding penahan tanah dapat dilakukan sebagai berikut:

- 1) Pemilihan desain dinding penahan tanah seperti tebal dan lebar pelat pondasi yang disesuaikan dengan ketinggian tanah.
- 2) Parameter tanah dari hasil pengujian dilapangan dihitung gaya dan momen yang bekerja terhadap dinding penahan tanah.
- 3) Letak gaya dan momen yang bekerja pada dinding penahan tanah untuk mengetahui kestabilan dinding penahan terhadap bahaya penggulingan.
- 4) Hitung angka keamanan terhadap penggulingan dan penggeseran terhadap dinding penahan tanah.
- 5) Dan menghitung tekanan tanah yang terjadi pada pondasi. Dengan syarat tekanan tanah maksimum tidak boleh melebihi kapasitas dukung tanah ijin (q_a).

PENGOLAHAN DATA

Refrensi penelitian sebelumnya dengan tempat dan data yang sama dari penelitian yang berjudul Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 oleh Dedy Dharmawangsa alumni Institut Teknologi Surabaya menggunakan rumus perhitungan selang kepercayaan 90% yang didapatkan dari hasil pengujian Laboratorium Mekaika Tanah dan Batuan Institut Teknologi Surabaya.

Sedangkan pada penelitian ini untuk data tanah asli yang digunakan ialah data boring tanah pada titik Bor 1 dikarenakan data boring pada titik 2 terdapat data yang tidak lengkap dan juga hasil yang diperoleh sangat besar. Dan untuk kedalaman -7 m dari permukaan jalan digunakan tanah timbunan yatu pasir kasar padat, data untuk tanah timbunan dari 2 lapisan diperoleh dari hasil korelasi empiris menurut Das (2006) dan AS 4678 (2002) yang dilihat dari jenis tanah boring yang berada di lapangan. Data lapisan tanah yang akan dianalisis menggunakan program *Plaxis* dan perhitungan teoritis didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Data Tanah

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	γ_{sat} (kN/m ³)	E (kN/m ²)	ν	c (kN/m ²)	Φ (°)
Tanah 1	0.00 – 3.50	20.00	24150	0.2	5.00	32
Tanah 2	3.50 – 7.00	20.00	20000	0.2	5.00	35
Tanah 3	8.00 – 10.50	16.84	5000	0.2	26.50	22
Tanah 4	10.50 – 14.50	17.82	7000	0.2	10.50	26
Tanah 5	14.50 – 16.50	17.51	10350	0.2	7.00	35
Tanah 6	16.50 – 18.50	17.68	13000	0.2	5.00	24
Tanah 7	18.50 – 20.50	18.86	50000	0.3	4.00	30

Sumber:

- Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga Provinsi Jawa Timur
- Hasil dari Korelasi Empiris Menurut Das (2006) dan AS 4678 2002) (Tanah 0 – 7 m)

Keterangan data yang digunakan untuk parameter tanah diperoleh dari:

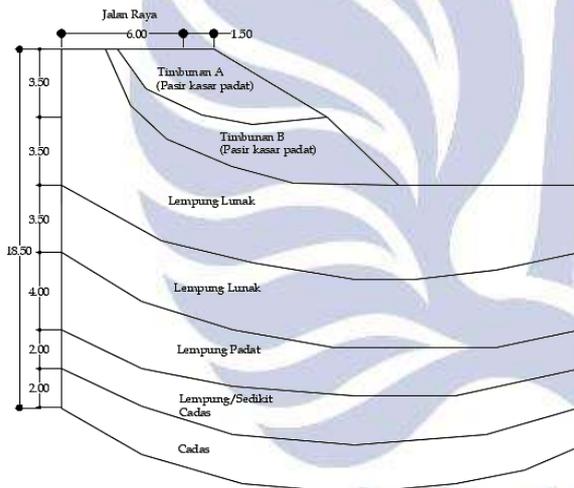
Berat Volume Jenuh (γ_{sat}): AS 4678 (2002)

Modulus Young (E): Das (2006)

Angka Poisson (ν): Das (2006)

Kohesi (c): AS 4678 (2002)

Sudut Geser Dalam (Φ): AS 4678 (2002)

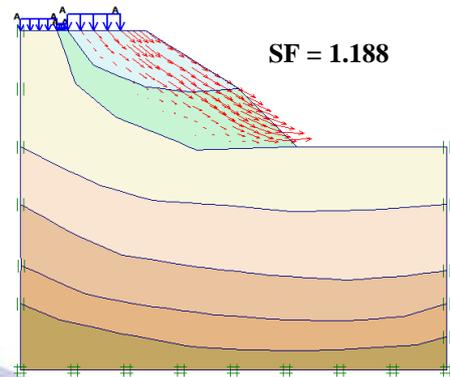


Gambar 4. Perkiraan pemodelan lapisan tanah (Sumber: Artikel Dedy Dharmawangsa dengan judul Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorojo KM. 23+650)

ANALISA DATA

1. Analisis Stabilitas Lereng Asli

Dari data tanah yang telah diperoleh didapatkan nilai *Safety Factor* (*SF*) pada lereng yang telah dianalisis dengan program *Plaxis* yaitu $1.188 < 1.5$ menurut Bowles (1997), yang menyatakan bahwa kondisi tanah tidak stabil sehingga pada kondisi tanah ini dibutuhkan perkuatan tanah.

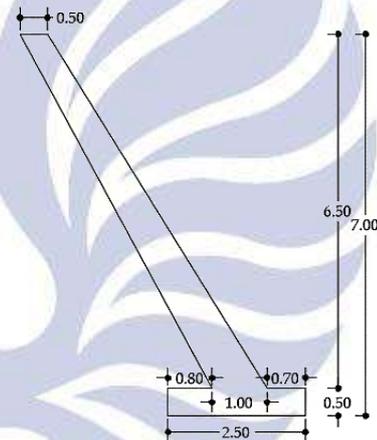


Gambar 5. Tampilan *total displacement* lereng asli (Sumber: Hasil Analisis)

2. Analisis Alternatif Perkuatan Stabilitas Tanah Lereng

a. Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever (Alternatif 1)

Desain awal dari dinding penahan tanah kantilever sebagai berikut:

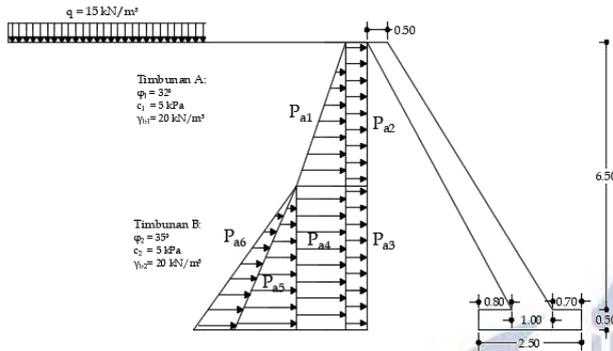


Gambar 6. Dimensi awal dinding penahan tanah alternatif 1

(Sumber: Suyono Sosrodarsono, Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi)

Pemilihan dinding penahan tanah alternatif 1 didasarkan dari buku Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi yaitu dinding penahan dengan sandaran yang memiliki desain perencanaan untuk menjaga keseimbangan antara berat sendiri dinding dan tekanan tanah pada bagian belakang sehingga jika bagian belakang dihilangkan akan mengakibatkan dinding terguling oleh sebab itu dipilihlah pemodelan dinding penahan tanah kantilever sandaran sebagai alternatif 1.

Perhitungan teoritis, sebagai berikut:



Gambar 7. Gaya yang bekerja pada dinding kantilever alternatif 1

(Sumber: Buku Analisis dan Perancangan Fondasi oleh Hary Christady Hardiyatmo)

Dinding penahan kantilever seperti pada gambar diatas memiliki data tanah, sebagai berikut:

- Lapisan timbunan A : $c_1 = 5 \text{ kPa}$
 $\varphi_1 = 32^\circ$
 $\gamma_1 = 20 \text{ kN/m}^3$
- Lapisan timbunan B : $c_2 = 5 \text{ kPa}$
 $\varphi_2 = 35^\circ$
 $\gamma_2 = 20 \text{ kN/m}^3$
- Berat volume beton = 24 kN/m^3
 Beban kendaraan = 15 kN/m^3

Tabel 3. Hitungan gaya vertikal dan gaya momen terhadap titik O alternatif 1

No	Berat W (kN)	Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)
1	$4.5 \times 6.5 \times 24 = 702.00$	3.33	2337.66
2	$0.5 \times 3.5 \times 6.5 \times 24 = 273.00$	2.25	614.25
3	$0.5 \times 4 \times 6.5 \times 24 = 312.00$	1.33	414.96
4	$1.5 \times 3 \times 20 = 30.00$	1.25	37.50
	$\Sigma W = 1317.00$	$\Sigma M = 3404.37$	

Bila $\beta = 0$ (untuk permukaan tanah horizontal) sehingga menggunakan rumus:

$$\text{Tanah timbunan A : } K_{a1} = tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = tg^2\left(45^\circ - \frac{32}{2}\right) = 0.31$$

$$\text{Tanah timbunan B : } K_{a2} = tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = tg^2\left(45^\circ - \frac{35}{2}\right) = 0.17$$

Perhitungan tekanan aktif total (P_a)

$$\Sigma P_a = 0.5 \times H^2 \times \gamma \times K_a + q \times H \times K_a$$

Tabel 4. Tabel perhitungan tekanan tanah aktif total alternatif 1

Tekanan tanah aktif total, P_a (kN)		Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)
$0.5 \times 15 \times 0.31 \times 3.5^2$	=	28.23	5.25
$15 \times 3.5 \times 0.31$	=	16.13	4.67
$15 \times 3.5 \times 0.27$	=	14.23	1.75
$20 \times 3.5 \times 0.27$	=	18.97	1.75
$0.5 \times 20 \times 0.27 \times 3.5^2$	=	33.20	1.17
$0.5 \times 20 \times 0.27 \times 3.5^2$	=	33.20	1.17
ΣP_a	=	143.95	$\Sigma M = 359.31$

a) Stabilitas terhadap penggeseran

Diketahui: $B = 2.5 \text{ m}$
 $c_2 = 5 \text{ kPa}$
 $\varphi_2 = 35^\circ$

$$\Sigma R_h = c_a \times B + W \times tg \delta_b = 934.67 \text{ kNm}$$

Faktor keamanan terhadap penggeseran (F_{gs}), didapatkan yaitu:

$$F_{gs} = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_a} \geq 1.5 \text{ (tanah granuler)}$$

$$= \frac{934.67}{143.95} = 6.493 \geq 1.5 \text{ (Aman)}$$

b) Stabilitas terhadap penggulingan

$$F_{gl} = \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \geq 1.5$$

$$= \frac{3404.37}{359.31} = 9.475 \geq 1.5 \text{ (Aman)}$$

c) Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

Menghitung keruntuhan kapasitas daya ultimat menggunakan persamaan Hansen (1970), dan pondasi terletak di bawah permukaan tanah.

Diketahui:

$$\Sigma M_w = 3404.37 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{gl} = 359.31 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma W = 1317 \text{ kN}$$

Eksentrisitas beban pondasi,

$$x_e = \frac{\Sigma M_w - \Sigma M_{gl}}{\Sigma W} = 2.31 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_e = -1.06 < \frac{B}{6} = \frac{2.5}{6} = 0.4167 \text{ (OK)}$$

Lebar efektif:

$$B' = B - 2e = 4.624 \text{ m}$$

$$A' = B' \times 1 = 4.624 \text{ m}^2$$

Gaya horizontal, $\Sigma P_a = H = 143.95 \text{ kN}$

Gaya vertikal, $\Sigma W = V = 1317 \text{ kN}$

Faktor-faktor kapasitas dukung Hansen (1963):

$$\begin{aligned}\varphi_2 = 35^\circ &\rightarrow N_c = 46.12 \\ N_q &= 33.30 \\ N_\gamma &= 33.92\end{aligned}$$

Faktor kemiringan beban:

$$\begin{aligned}i_q &= \left[1 - \frac{0.5 H}{v + A'c_a \text{ctg}\varphi}\right]^5 \geq 0 \\ &= 0.756 \geq 0 \text{ (OK)} \\ i_c &= i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \times \text{tg}\varphi} \\ &= 0.749 \\ i_\gamma &= \left[1 - \frac{0.7 H}{v + A'c_a \text{ctg}\varphi}\right]^5 \\ &= 0.673\end{aligned}$$

Faktor kedalaman tanah:

$$\begin{aligned}\text{Kedalaman pondasi (Df)} &= 0.5 \text{ m} \\ \text{Lebar pondasi} &= 2.5 \text{ m}\end{aligned}$$

Kapasitas dukung ultimat untuk pondasi di bawah permukaan menurut Hansen (1970) ialah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}q_u &= d_c i_c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0.5 B \gamma N_\gamma \\ &= 1076.45 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Bila dihitung dengan berdasarkan pendistribusian tekanan kontak antara tanah dasar pondasi dengan persamaan Meyerhof, maka:

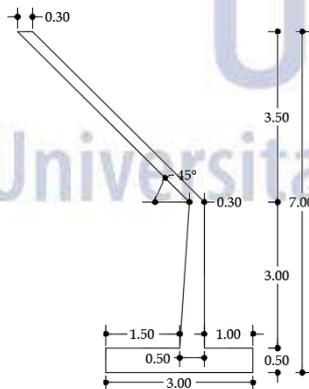
$$\begin{aligned}q &= \frac{q_u}{B_f} \\ &= 284.80 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Sehingga faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung, yaitu:

$$\begin{aligned}F &= \frac{q_u}{q} \\ &= 3.780 > 3 \text{ (Aman)}\end{aligned}$$

b. Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever (Alternatif 2)

Desain awal dari dinding penahan tanah kantilever sebagai berikut:

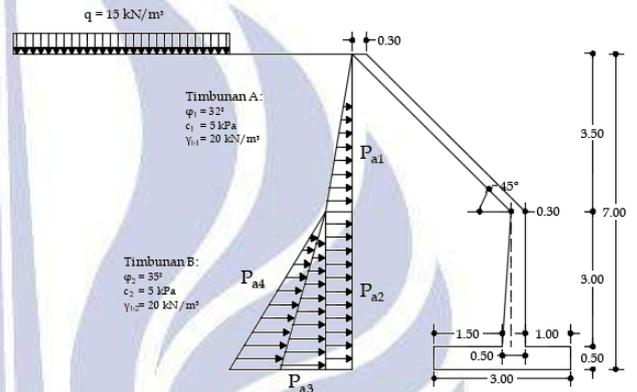


Gambar 8. Dimensi awal dinding penahan tanah alternatif 2

(Sumber: Suryolelono, Teknik Pondasi Bagian 1 (Pondasi Telapak Dan Dinding Penahan Tanah))

Pemilihan dinding penahan tanah alternatif 2 didasarkan dari buku Teknik Pondasi Bagian 1 yaitu dinding penahan tanah kantilever yang dapat bekerja dengan keadaan dan mampu menahan perlawanan terhadap gaya dorong yang terjadi pada bidang antara tanah dan dinding, dan juga mampu menahan keseimbangan terhadap berat sendiri dinding dan tekanan tanah yang dapat mengakibatkan bahaya guling oleh karena itu dipilih desain tersebut untuk perkuatan tanah alternatif 2.

Perhitungan teoritis, sebagai berikut:



Gambar 9. Gaya yang bekerja pada dinding kantilever alternatif 2

(Sumber: Suryolelono, Teknik Pondasi Bagian 1 (Pondasi Telapak Dan Dinding Penahan Tanah))

Tabel 5. Hitungan gaya vertikal dan gaya momen terhadap titik O alternatif 2

No	Berat W (kN)	Jarak dari O (m)	Momen ke O (kN.m)	
1	0.3 x 3 x 24 =	21.60	1.15	24.84
2	0.5 x 0.2 x 3 x 24 =	7.20	1.37	9.86
3	3 x 0.5 x 24 =	36.00	1.50	54.00
4	1.5 x 3 x 20 =	90.00	2.25	202.50
5	0.5 x 0.2 x 3 x 20 =	6.00	1.43	8.58
6	0.5 x 1.7 x 1.7 x 20 =	28.90	1.30	37.57
7	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	2.43	20.82
8	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	1.60	13.71
9	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	1.90	16.28
10	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	2.20	18.85
11	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	2.50	21.42
12	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	2.80	23.99
13	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	3.10	26.56
14	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	3.40	29.13
15	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	3.70	31.70
16	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	4.00	34.27
17	0.85 x 0.42 x 24 =	8.57	4.30	36.84
18	0.6 x 0.4 x 24 =	8.57	4.55	38.98
q	1.5 x 15 =	22.50	1.43	32.18
	$\Sigma W =$	315.02	$\Sigma M =$	682.09

Perhitungan tekanan aktif total (P_a)

$$\Sigma P_a = 0.5 \times H^2 \times \gamma \times K_a + q \times H \times K_a$$

Tabel 6. Tabel perhitungan tekanan tanah aktif total alternatif 2

Tekanan tanah aktif total, P_a (kN)		Jarak dari O (m)	Momen ke O kN.m
$0.5 \times 3.5^2 \times 0.31$	=	28.23	4.67
$20 \times 3.5 \times 0.27$	=	18.97	1.75
$0.5 \times 20 \times 0.27 \times 3.5^2$	=	33.20	1.17
$0.5 \times 20 \times 0.27 \times 3.5^2$	=	33.20	1.17
ΣP_a	=	113.59	$\Sigma M =$ 242.71

a) Stabilitas terhadap penggeseran

Diketahui: $B = 3 \text{ m}$

$c_2 = 5 \text{ kPa}$

$\varphi_2 = 35^\circ$

$$\Sigma R_h = c_a \times B + W \times \text{tg } \delta_b$$

$$= 235.58 \text{ kNm}$$

Faktor keamanan terhadap penggeseran (F_{gs}),
didapatkan yaitu:

$$F_{gs} = \frac{\Sigma R_h}{\Sigma P_a} \geq 1.5 \text{ (tanah granuler)}$$

$$= \frac{235.58}{113.59}$$

$$= 2.074 \geq 1.5 \text{ (Aman)}$$

b) Stabilitas terhadap penggulingan

$$F_{gl} = \frac{\Sigma M_w}{\Sigma M_{gl}} \geq 1.5$$

$$= \frac{682.09}{242.71}$$

$$= 2.810 \geq 1.5 \text{ (Aman)}$$

c) Stabilitas terhadap keruntuhan kapasitas dukung tanah

Diketahui:

$$\Sigma M_w = 682.09 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma M_{gl} = 242.71 \text{ kN.m}$$

$$\Sigma W = 315.02 \text{ kN}$$

Eksentrisitas beban pondasi,

$$x_e = \frac{\Sigma M_w - \Sigma M_{gl}}{\Sigma W}$$

$$= 1.39 \text{ m}$$

$$e = \frac{B}{2} - x_e$$

$$= 0.105 < \frac{B}{6} = \frac{3}{6} = 0.5 \text{ (OK)}$$

Lebar efektif:

$$B' = B - 2e$$

$$= 2.790 \text{ m}$$

$$A' = B' \times 1$$

$$= 2.790 \text{ m}^2$$

Gaya horizontal, $\Sigma P_a = H = 113.59 \text{ kN}$

Gaya vertikal, $\Sigma W = V = 315.02 \text{ kN}$

Faktor-faktor kapasitas dukung Hansen (1963):

$$\varphi_2 = 35^\circ \rightarrow N_c = 46.12$$

$$N_q = 33.30$$

$$N_\gamma = 33.92$$

Faktor kemiringan beban:

$$i_q = \left[1 - \frac{0.5H}{V + A'c_a \text{ctg } \varphi} \right]^5 \geq 0$$

$$= 0.375 \geq 0 \text{ (OK)}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \times \text{tg } \varphi}$$

$$= 0.356$$

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{0.7H}{V + A'c_a \text{ctg } \varphi} \right]^5$$

$$= 0.239$$

Faktor kedalaman tanah:

Kedalaman pondasi (D_f) = 0.5 m

Lebar pondasi = 3 m

Kapasitas dukung ultimat untuk pondasi di bawah permukaan menurut Hansen (1970) ialah sebagai berikut:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q D_f \gamma N_q +$$

$$d_\gamma i_\gamma 0.5 B \gamma N_\gamma$$

$$= 658.04 \text{ kN/m}^2$$

Bila dihitung dengan berdasarkan pendistribusian tekanan kontak antara tanah dasar pondasi dengan persamaan Meyerhof, maka:

$$q = \frac{V}{B'}$$

$$= 112.93 \text{ kN/m}^2$$

Sehingga faktor aman terhadap keruntuhan kapasitas dukung, yaitu:

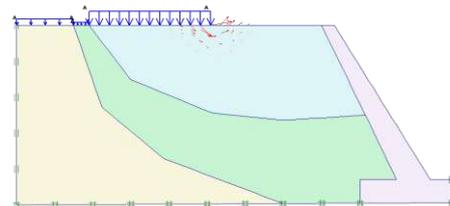
$$F = \frac{q_u}{q}$$

$$= 5.827 > 3 \text{ (Aman)}$$

c. Analisis DPT dengan Program *Plaxis*

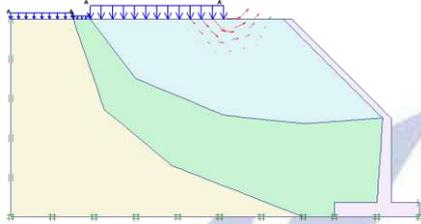
Dalam analisis stabilitas dinding penahan tanah terdapat beban yang bekerja berasal dari beban lalu lintas kendaraan diatas lereng yang diasumsikan sebagai beban merata yaitu 15 kN/m².

Pada analisis stabilitas dinding penahan tanah yang dilakukan menggunakan program *Plaxis* untuk alternatif 1 dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever sandaran diperoleh hasil angka keamanan sebesar 5.357 > 1.5 (Bowles, 1997), dimana angka keamanan tersebut telah melebihi standar batas aman dari angka keamanan stabilitas lereng.



Gambar 10. Tampilan *total displacements* alternatif 1 (Sumber: Hasil Analisis)

Untuk alternatif 2 dengan perkuatan dinding penahan tanah kantilever diperoleh hasil angka keamanan sebesar $5.835 > 1.5$ (Bowles, 1997), dimana angka keamanan yang diperoleh pun telah melebihi standar batas aman dari angka keamanan stabilitas lereng. Sehingga dapat digunakan sebagai perkuatan tanah untuk menopang beban yang ada.



Gambar 11. Tampilan *total displacements* alternatif 2 (Sumber: Hasil Analisis)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis dari program *Plaxis* untuk tanah lereng asli didapatkan nilai keamanan (*SF*) sebesar $1.188 < 1.5$ (tidak aman) menurut Bowles (1997), oleh karena itu tanah lereng membutuhkan perkuatan tanah untuk menopang beban serta tekanan aktif dari tanah.

Setelah dilakukan analisis perkuatan stabilitas lereng menggunakan program *Plaxis* untuk alternatif 1 diperoleh nilai keamanan (*SF*) sebesar $5.357 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997) dan dengan perhitungan teoritis didapatkan angka keamanan pada stabilitas terhadap geser yaitu $6.493 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), stabilitas terhadap guling sebesar $9.475 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), dan stabilitas terhadap keruntuhan dukung tanah sebesar $3.780 > 3$ (aman) yang dari hasil analisis diperoleh lebih besar dari angka yang disyaratkan.

Untuk analisis dinding penahan tanah kantilever pada alternatif 2 dari hasil analisis menggunakan program *Plaxis* diperoleh angka keamanan sebesar $5.835 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997) dan menggunakan perhitungan teoritis didapatkan angka keamanan untuk stabilitas terhadap geser sebesar $2.074 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), stabilitas terhadap guling $2.810 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997) dan stabilitas terhadap keruntuhan tanah sebesar $5.827 > 3$ (aman).

Dari hasil analisis diatas disimpulkan bahwa nilai faktor aman belum memenuhi syarat pada kondisi tanah lereng asli dikarenakan kurang dari nilai yang telah disyaratkan yaitu > 1.5 (Bowles, 1997) sehingga dikategorikan sebagai tanah dengan kondisi kritis yang dapat terjadi longsor susulan di waktu yang akan datang.

Tabel 7. Deskripsi Hasil Analisis

Metode	Tanah lereng	Alternatif 1	Alternatif 2
Plaxis	1.188	5.357	5.835
Rankine	Geser	-	6.493
	Guling	-	9.475
Hansen	Keruntuhan Tanah	-	3.780
			5.827

SIMPULAN

Dari hasil analisis dan perhitungan terhadap stabilitas dinding penahan tanah pada Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada kasus kelongsoran yang terjadi pada tahun 2010 di Ruas Jalan Nasional Trenggalek-Ponorogo KM. 23+650 didapatkan bahwa diperlukan perkuatan tanah pada lereng tersebut, pada penelitian ini digunakan dinding penahan tanah kantilever dengan ukuran dimensi yang digunakan sesuai dengan yang telah disyaratkan yaitu:
 - Alternatif 1 yaitu perkuatan dinding penahan kantilever sandaran digunakan dinding dengan tebal 0.5 m dengan tinggi 6.5 m, dan lebar pondasi 2.5 m dengan tinggi 0.5 m.
 - Alternatif 2 yaitu perkuatan dinding penahan kantilever digunakan dinding dengan tebal 0.3 m dengan tinggi 6.5 m, dan lebar pondasi 3 m dengan tinggi 0.5 m.
- Dari hasil analisis menggunakan perhitungan teoritis dan program *Plaxis* didapatkan angka keamanan sebagai berikut:
 - Hasil analisis tanah lereng asli menggunakan program *Plaxis* sebesar $1.188 < 1.5$ (tidak aman) (Bowles, 1997) sehingga tanah lereng membutuhkan perkuatan tanah.
 - Alternatif 1 yaitu perkuatan dinding penahan kantilever sandaran diperoleh menggunakan program *Plaxis* sebesar $5.357 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), sedangkan dalam perhitungan teoritis didapatkan angka keamanan stabilitas terhadap geser yaitu $6.493 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), stabilitas terhadap guling $9.475 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), dan stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah sebesar $3.780 > 3$ (aman).
 - Alternatif 2 yaitu perkuatan dinding penahan kantilever diperoleh menggunakan program *Plaxis* sebesar $5.357 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), sedangkan dalam perhitungan teoritis didapatkan angka keamanan stabilitas terhadap geser yaitu $2.074 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), stabilitas terhadap guling $2.810 > 1.5$ (aman) (Bowles, 1997), dan stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung tanah sebesar $5.827 > 3$ (aman).

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan diatas, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya agar analisis data lebih akurat diperlukan data yang lebih lengkap dengan mengambil sampel tanah dan melakukan uji laboratorium sehingga dapat memodelkan bangunan struktur yang lebih baik dan kuat terhadap kondisi yang sebenarnya.
2. Untuk penelitian yang akan dilakukan selanjutnya disarankan agar menggunakan perkuatan tanah lereng dengan perkuatan tanah yang lain.
3. Dan juga disarankan menggunakan metode stabilitas tanah yang lainnya seperti metode Bishop, Fellenius, dan Slices dan menggunakan pemodelan dengan aplikasi yang lainnya seperti *Geo5* dan *Rosscience Slice* agar mengetahui keakuratan dari hasil pemodelan lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Darwis. 2018. *Dasar-dasar Mekanika Tanah*. Yogyakarta: Pena Indis.
- Dharmansyah, Dedy. 2011. *Alternatif Perkuatan Lereng pada Ruas Jalan Trenggalek-Ponorogo KM 23+650*. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Institut Teknologi Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Rekayasa Penanganan Keruntuhan Lereng pada Tanah Residual dan Batuan*.
- Febe, Maria dan Sasongko, Imam Hariadi. 2019. "Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah dengan Perkuatan Bronjong pada Jalan Tol Ulujami-Pondok Ranji Ramp Bintaro Viaduct". *Construction and Material Journal* e-ISSN 2655-9625. Vol. 1 No. 1: hal. 91-100.
- Gevient, Balsius dan S. Gregorius Sandjaja. 2019. "Analisis Ulang Dinding Penahan Tanah dengan Pendekatan Perhitungan Manual yang Memperhitungkan Akibat Beban Gempa". *Jurnal Mitra Teknik Sipil*. Vol. 2 No. 3: hal 43-52.
- Hakam, Abdul dan Mulya, Rizki Pranata. 2011. "Studi Stabilitas Dinding Penahan Tanah Kantilever pada Ruas Jalan Silaing Padang-Bukittinggi KM 64+500". *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 7 No. 1: hal 57-74.
- Hakam, Dr. Abdul. 2010. *Stabilitas Lereng Dan Dinding Penahan Tanah*. Padang: CV. Ferila.
- Hakim, Abdul dan Prinato, Kusnul. 2017. "Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah (DPT) Pasangan Batu: Studi Kasus Longsor di Desa Jeru Kecamatan Tumpang Kabupaten Malang". *ResarchGate*.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2003. *Analisis dan Perancangan Pondasi*. Yogyakarta: GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS.
- Haryati, Dwi. 2016. *Pelatihan PLAXIS*. Yogyakarta: Laboratorium Komputasi Jurusan Teknik Sipil & Lingkungan Fakultas Teknik UGM.
- Husnud. 2020. *Patroli Dialogis Wakapolsek Sawoo Sampaikan Himbauan Kamtibmas*, (Online), (<https://kanalponorogo.com/patroli-dialogis-wakapolseksawoo-sampaikan-himbauan-kamtibmas/>), diakses 27 November 2020.
- Listyawan, Anto Budi, dkk. 2015. "Desain Dimensi Dinding Penahan Tanah dengan Menggunakan Program *Geo 5*". *Simposium Nasional RAPI XI*". Hal S-9-S-14.
- Mina, Enden, dkk. 2019. "Analisis Stabilitas Dinding Penahan Tanah untuk Perkuatan Tebing Badan Jalan Suradita-Kranggan". *Jurnal Fondasi*. Vol. 8 No. 1: hal 12-21.
- Putra, Tjokorda Gde Suwarsa, dkk. 2010. "Ánalisis Stabilitas Lereng pada Badan Jalan dan Perencanaan Perkuatan Dinding Penahan Tanah". *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. Vol. 14 No. 1: hal 36-42.
- Saputra, Septian Adi. 2017. *Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Dinding Penahan Tanah Kantilever dan Geotekstil pada Ruas Jalan Lintas Liwa-Simpang Gunung Kemala KM. 268+550*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Sianipar, Abram Bonar Jusin. 2017. *Perencanaan Konstruksi Dinding Penahan Tanah pada Underpass dengan Menggunakan Secantpile di Jalan Brigjend. Katamso – AH Nasution Medan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sidiq, Fatah Hidayat. 2019. *Wilayah Sawoo Ponorogo Rawan Tanah Retak*, (Online), (<https://www.jatimpos.id/kabar/wilayah-sawoo-ponorogo-rawan-tanah-retak-b1Xr69c5g>), diakses 27 November 2020.
- Sosrodarsono, Suyono. 2000. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT. PRADNYA PARAMITA.