



Analisis Stabilitas Lereng dengan Dinding Penahan Tanah menggunakan Perhitungan Manual dan *ASDIP Retain v.4.7.6*

Siril Alfana¹ ✉, RA Rieke Aulia Assafira², Adolf Situmorang³, Hendra Masvika⁴

^{1,2,3,4} Universitas Semarang, Indonesia

DOI: 10.26623/teknika.v19i1.7855

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit 2023-09-18

Direvisi 2024-02-19

Disetujui 2024-03-

29

Keywords:

Slope stability; Retaining wall;

Earthquake; External forces

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai analisis stabilitas lereng pada Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Sigli-Banda Aceh Seksi 1 pada STA 21+725. Perkuatan lereng menggunakan dinding penahan tanah tipe kantilever setinggi 5,1 m dan kelandaian lereng 45°, dengan angka aman >1,5. Perhitungan dilakukan pada kondisi statis dan kondisi gempa menggunakan *GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual. Hasil perhitungan menggunakan *GeoStudio 2012* diperoleh angka aman 3,057 untuk kondisi statis dan 1,787 untuk kondisi gempa. Hasil perhitungan menggunakan *ASDIP Retain v.4.7.6* diperoleh SF guling 3,02 dan SF geser 5,81. Gaya geser pada ketinggian kritis sebesar 95,3 kN/m dan tahanan geser sebesar 328 kN/m. Hasil perhitungan manual kondisi statis terhadap gaya eksternal diperoleh SF guling 3,034, SF geser 1,921, dan SF daya dukung 14,19. Nilai SF untuk kondisi gempa diperoleh SF guling 2,077, SF geser 1,775, dan SF daya dukung 9,631. Terhadap gaya internal kondisi statis dan kondisi gempa telah memenuhi syarat angka keamanan. Hasil simulasi dengan *GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual di atas telah sesuai dengan syarat faktor keamanan sesuai SNI 8460:2017.

Abstract

This research discusses about the analysis of slope stability on the Trans Sumatra Toll Road Sigli-Banda Aceh Section 1 at STA 21+725. The reinforcement of slope using a cantilever-type retaining wall as high as 5.1 m and a slope of 45 °, with a safety factor > 1.5. Calculations were carried out in static and earthquake conditions using GeoStudio 2012, ASDIP Retain v.4.7.6, and manual calculations. The results of calculations using GeoStudio 2012 obtained a safety factor of 3.057 for static conditions and 1.787 for earthquake conditions. The calculation results using ASDIP Retain v.4.7.6 obtained SF of overturning 3.02 and SF of shear 5.81. The shear force at the critical height is 95.3 kN/m, and the shear resistance is 328 kN/m. The results using manual calculations for static conditions against external forces obtained SF overturning of 3.034, SF shear of 1.921, and SF bearing capacity of 14.19. The SF value for earthquake conditions obtained is a SF of overturning 2.077, SF of shear 1.775, and SF of bearing capacity 9.631 obtained. The internal forces for static conditions and earthquake conditions also meet the safety factors requirements. The simulation results with GeoStudio 2012, ASDIP Retain v.4.7.6, and the manual calculations above follow the safety factor requirements according to SNI 8460:2017.

✉ Alamat Korespondensi:
E-mail: sirilalfana4@gmail.com

PENDAHULUAN

Tanah merupakan lapisan bumi paling atas yang memiliki beberapa sifat dan karakteristik yang berbeda serta memiliki banyak pengaruh yang dapat membuat kondisi suatu tanah berubah seperti air, udara, dan pergerakan lempeng bumi (Setyawan, 2017). Tanah didataran tinggi yang mengalami perubahan menghasilkan lereng. Lereng adalah tampak muka alam yang terjadi karena adanya perbedaan tinggi yang dibandingkan dengan jarak sehingga membentuk sudut kelerengan (Khoiroh, Marhendi, & Azizi, 2013). Berdasarkan (SNI 8460:2017), lereng dapat mengalami longsor dikarenakan naiknya muka air tanah, deformasi, pelapukan, gempa, dan gangguan luar akibat timbunan baru. Kerentanan longsor pada lereng dapat terjadi jika lereng curam dengan kondisi massa tanah jenuh berada di atas bidang gelincir (Haribulan, Gosal, & Karongkong, 2019). Lereng dinyatakan dengan faktor keamanan, dimana faktor keamanan merupakan perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak pada lereng (Haryadi & Achmat, 2016). Berdasarkan (SNI 8460:2017, 2017), lereng batuan kondisi permanen memberikan rekomendasi faktor aman sebesar 1,5 dan kondisi sementara dengan faktor aman sebesar 1,3. Klasifikasi kestabilan lereng dapat dilihat pada Tabel 1 (Ray & De Smedt, 2009).

Tabel 1. Klasifikasi Kestabilan Lereng

Faktor Keamanan Lereng	Status lereng	Keterangan
$SF > 1,5$	Lereng stabil	Hanya gangguan besar dapat membuat kestabilan.
$1,25 > SF > 1,5$	Kestabilan sedang	Gangguan ketidakstabilan sedang dapat membuat ketidakstabilan.
$1 < SF < 1,25$	Agak stabil	Gangguan ketidakstabilan minor dapat mengganggu stabilitas.
$SF < 1$	Tidak stabil	Memerlukan perbaikan stabilitas lereng.

(Sumber: (Ray & De Smedt, 2009))

Kelongsoran lereng terbagi menjadi dua yaitu akibat faktor dalam dan akibat faktor luar (Razali, et al., 2023). Faktor dalam meliputi bentuk geometri dan dimensi, adanya rekahan, drainase permukaan, dan perubahan kondisi air tanah. Faktor luar berupa gempa bumi, infiltrasi air hujan, dan pengaruh penggalian. Pengaruh infiltrasi air hujan pada lereng menjadi parameter dalam pemodelan stabilitas lereng. Infiltrasi air hujan pada tanah menjadikan tanah berubah jenuh sehingga terjadi peningkatan tekanan air pori (Muchtaranda, Sulistyowati, & Muhajirah, 2022). Perubahan kondisi kejenuhan tanah membuat kekuatan geser tanah berkurang sehingga memicu terjadinya longsor. Air hujan pada batas kondisi 60-100 mm/30 hari dapat memicu terjadinya longsor pada lereng di jalan tol ruas Gempol-Pandaan (Atikah, Juwono, & Hendrawan, 2017). Genangan dari air hujan kemudian masuk ke dalam celah rekahan tanah menyebabkan turunnya angka keamanan lereng sehingga memicu terjadinya longsor (Hidayat, Wijaya, & Munir, 2023). Nilai faktor keamanan lereng dapat berubah seiring perubahan desain konstruksi lereng serta variasi pengaruh air hujan (Surjandari, et al., 2021).

Penelitian terkait penanganan longsor, pada kasus Jalan Tol Cipali km 122 dilakukan dengan perkuatan *soldier pile* memberikan hasil kenaikan nilai SF sebagaimana hasil pemodelan *SLOPE/W* (Santoso, Saputra, Kusrin, & Situmorang, 2022). Perkuatan *minipile* dan *geotextile* diberikan untuk mengatasi permasalahan longsor proyek jalan tol Balikpapan-Samarinda (Hartono, 2020). Penggunaan *MSE wall* sebagai perkuatan lereng dilakukan di jalan tol ruas Manado-Bitung memberikan kenaikan faktor keamanan 1,607 (Sampouw, Mandagi, & Ticoh, 2019). Material *PVD* dan perkuatan cerucuk beton prategang, *counterweight*, dan *stone column* ditawarkan sebagai alternatif untuk mengatasi permasalahan timbunan di jalan tol ruas Batang-Semarang (Ramadhan, Suwarno,

& Mochtar, 2019). Mengacu pada (SNI 8460:2017), diperlukan penanganan lereng dengan *soil nailing* dan DPT berdasarkan simulasi *GEO 5* untuk menaikkan faktor keamanan jalan kereta api Lahat-Lubuklinggau (Nuraini & Ismaili, 2022). Pemasangan sudut *soil nailing* berpengaruh pada nilai *SF* lereng (Wibowo, Pratikso, & Sumirin, 2023). Faktor kemiringan lereng dan kedalaman galian berpengaruh pada nilai *SF* lereng berdasarkan pemodelan *SLOPE/W* (Arif & Ilpandari, 2022).

Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Sigli-Banda Aceh terletak pada daerah rawan gempa dengan kondisi lereng tidak stabil. Guna menstabilkan lereng maka dibangun dinding penahan tanah tipe kantilever untuk melindungi infrastuktur disepanjang lereng terhadap bahaya guling, geser, dan keruntuhan dalam jangka panjang. Kerusakan dinding penahan dapat diakibatkan oleh beberapa faktor diantaranya karena kesalahan desain, kesalahan perhitungan manual atau *software*, penempatan perkuatan yang tidak tepat, material urugan yang jenuh, dan lain-lain (Khuzafiah, 2019). Pada penelitian ini perhitungan stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak *GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain V.4.7.6*, dan perhitungan manual. Perangkat lunak *GeoStudio* merupakan program yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng dari tanah, batuan, galian, atau timbunan (GeoStudio, 2021). Setelah mendapatkan angka keamanan lereng, dilakukan analisis dengan perkuatan dinding penahan tanah menggunakan perangkat lunak *ASDIP Retain v.4.7.6*. Program konstruksi ini banyak digunakan oleh para insinyur untuk merancang dinding penahan tanah sesuai dengan persyaratan terbaru (ASDIP RETAIN, 2023). Perangkat ini juga menyederhanakan perhitungan struktur yang memerlukan banyak waktu. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui angka keamanan (*SF*) lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah pada kondisi statis dan kondisi gempa menggunakan perangkat lunak *GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual.

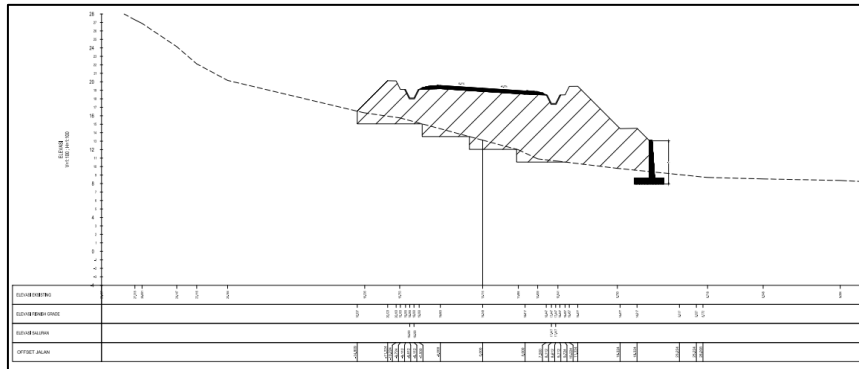
METODE

Penelitian ini dilakukan di Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Sigli-Banda Aceh Seksi 1 STA 21+725 yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian menggunakan dua analisis yaitu analisis stabilitas lereng dengan perkuatan dinding penahan tanah kondisi statis dan analisis pada kondisi gempa. Dalam menganalisis, penelitian ini menggunakan program *GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data sekunder yang digunakan yaitu gambar *cross section* STA 21+725 (Gambar 2), data *Standard Penetration Test (SPT)*, data korelasi parameter tanah (Tabel 2 dan Tabel 3), data percepatan gempa dari Binamarga 2017 (Gambar 3), dan data beban merata dari (SNI 8460:2017) (Tabel 4). Dinding penahan yang digunakan yaitu dinding kantilever dengan bahan beton bertulang, menggunakan mutu beton 27,6 MPa dan berat volume beton 2,5 ton/m³ atau setara 25 kN/m³.



Gambar 2. Cross Section STA 21+725

Tabel 2. Korelasi N-SPT dengan C_u

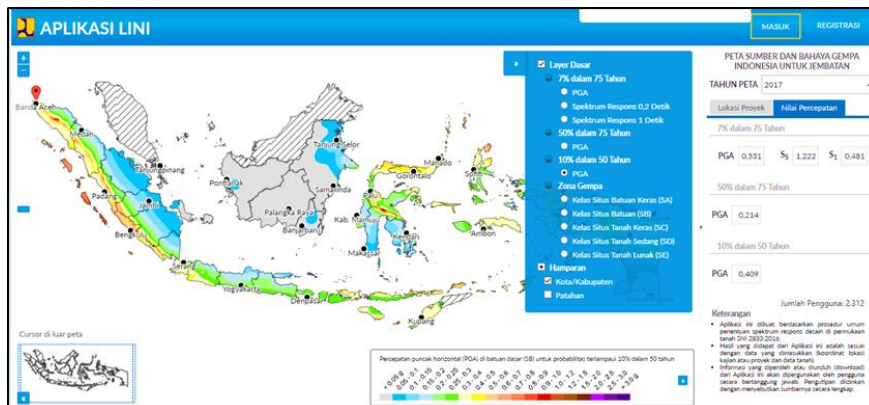
Konsistensi tanah	C_u		N-SPT
	kPa	ton/m^2	
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	0 – 12,5	0 – 1,25	0 – 2,5
Lunak (<i>soft</i>)	12,5 – 25	1,25 – 2,5	2,5 – 5
Kaku (<i>medium</i>)	25 – 50	2,5 – 5	5 – 10
Sangat kaku (<i>stiff</i>)	50 – 100	5 – 10	10 – 20
Keras (<i>very stiff</i>)	100 – 200	10 – 20	20 – 40
Keras (<i>hard</i>)	> 200	> 20	> 40

(Sumber: (Afriyanto, Lastiasih, & Mochtar, 2017))

Tabel 3. Korelasi antara N-SPT dengan γ dan ϕ

<i>Cohesionless Soil</i>					
N	0 - 10	11 - 30	31 - 50	>50	
Unit Weight γ , kN/m^3	12 - 16	14 - 18	16 - 20	18 - 23	
Angle of Friction (ϕ)	25 - 32	28 - 36	30 - 40	>35	
State	<i>Loose</i>	<i>Medium</i>	<i>Dense</i>	<i>Very Dense</i>	
<i>Cohesive</i>					
N	<4	4 - 6	6 - 15	16 - 25	>25
Unit Weight γ , kN/m^3	14 - 18	16 - 18	16 - 18	16 - 20	>20
Angle of Friction (ϕ)	<25	20 - 50	30 - 60	40 - 200	>100
State	<i>Very Soft</i>	<i>Soft</i>	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Hard</i>

(Sumber: (Bowles, 1977))



Gambar 3. Peta Percepatan Gempa Indonesia

(Sumber: (Lini Bina Marga, 2017))

Tabel 4. Beban Merata

Kelas Jalan	Beban Lalu Lintas (kPa)	Beban di Luar Jalan (*) (kPa)
I	15	10
II	12	10
III	12	10

Keterangan: (*) bangunan perumahan disekitar lereng.

(Sumber: (SNI 8460:2017))

GeoStudio 2012

Program *GeoStudio* merupakan program yang memodelkan permasalahan lereng dalam bentuk gambar pada aplikasi *Computer Aided Design (CAD)* (*GeoStudio*, 2021). Metode yang dipilih adalah metode *Bishop*. Data yang perlu dimasukkan dalam program tersebut yaitu data geometri lereng dan dinding penahan, data parameter tanah, dan beban gempa. Langkah-langkah analisis menggunakan program *GeoStudio 2012* sebagai berikut:

1. Masuk ke program *GeoStudio 2012*.
2. Pilih *2D SLOPE W Analysis – Limit Equilibrium* dengan analisis tipe *Bishop*.
3. Pada menu *file* pilih *import regions* (data gambar dari *AutoCAD* dengan jenis *file DXF*).
4. Mengatur ukuran kertas pada menu *set page*.
5. Membuat elevasi dan jarak pada menu *sketch*, pilih *axes*.
6. Input material tanah dan dinding penahan.
7. Input beban merata pada menu *draw*, pilih *surcharge loads*.
8. Membuat *entry & exit slip surface*.
9. Melakukan *solve manager* dengan klik *start* untuk memperoleh angka aman kondisi statis (tanpa beban gempa).
10. Masukkan beban gempa pada menu *keyln*, pilih *seismic load*.
11. Melakukan *solve manager* dengan klik *start* untuk memperoleh angka aman pada kondisi gempa.

ASDIP Retain v.4.7.6

ASDIP Retain adalah perangkat lunak teknik struktural yang digunakan oleh para insinyur untuk mendesain dinding penahan tanah (*ASDIP RETAIN*, 2023). Program ini mencakup tiga jenis dinding yaitu dinding tipe kantilever, dinding tipe *counterfort*, dan dinding tipe gravitasi. Data yang dimasukkan yaitu data geometri dinding penahan tanah, parameter tanah dan sudut timbunan lereng.

1. Buka program *ASDIP Retain*, pilih *cantilever retain wall*.
2. Mengatur satuan menjadi satuan *SI*.
3. Input *geometry* pada nilai *stem*, *footing*, dan *backfill & cover* sesuai data.
4. Input *loads* pada nilai *backfill*, *surface*, *concrete*, dan *wind & seismic* sesuai data.
5. Input material pada nilai *stem*, *footing*, dan *bearing soil* sesuai data.
6. Input *reinforcement* pada nilai *stem*, *footing*, dan *shear key* sesuai data.
7. Hasil akan muncul (angka aman akan diketahui).
8. Simpan *project*.

Perhitungan Manual

Pada perhitungan manual dalam menganalisis lereng dengan dinding penahan tanah yaitu menggunakan teori Rankine, Terzaghi, dan Hansen & Vesic. Perhitungan dilakukan pada stabilitas terhadap gaya-gaya eksternal dan internal untuk kondisi statis dan kondisi gempa.

1. Stabilitas terhadap gaya eksternal
 - a) Penggulingan

Berdasarkan (Hardiyatmo, 2011), faktor aman terhadap guling didefinisikan sebagai berikut:

$$F_{gl} = \frac{\sum M_w}{\sum M_{gl}} > 2 \dots\dots\dots (1)$$

keterangan:

- F_{gl} = Faktor aman guling
- $\sum M_w$ = Momen yang melawan guling (kNm)
- $\sum M_{gl}$ = Momen penyebab guling (kNm)
- W = Berat tanah dan berat dinding penahan tanah di atas fondasi (kN)
- B = Lebar kaki dinding penahan(m)
- $\sum P_{ah}$ = Total gaya horizontal (kN)
- $\sum P_{av}$ = Total gaya vertikal (kN)

b) Pergeseran

Berdasarkan (Hardiyatmo, 2011), faktor keamanan terhadap geser dapat didefinisikan berikut ini:

$$F_{gs} = \frac{\sum R_h}{\sum P_h} > 1,5 \dots\dots\dots (2)$$

untuk tanah c - φ ($\varphi > 0$ dan $c > 0$)

$$\sum R_h = c_a B + W \operatorname{tg} \delta_b$$

keterangan:

- F_{gs} = Faktor keamanan pada geser
- $\sum R_h$ = Ketahanan geser dinding penahan tanah
- $\sum P_h$ = Total gaya horizontal (kN)
- W = Berat tanah dan berat dinding penahan tanah di atas fondasi (kN)
- δ_b = Sudut gesek antara tanah dan dasar fondasi
- c_a = Kohesi tanah dan dasar dinding (kN/m²)

c) Kapasitas daya dukung tanah

Beban eksentris dan miring dihitung berdasarkan persamaan Hansen (1970) dan Vesic (1975) (Hardiyatmo, 2011). Persamaannya didefinisikan berikut ini:

$$q_u = d_c i_c c N_c + d_q i_q Df \gamma N_q + d_\gamma i_\gamma 0.5B \gamma N_\gamma \dots\dots\dots (3)$$

keterangan:

- d_c, d_q, d_γ = Faktor kedalaman
- i_c, i_q, i_γ = Faktor kemiringan beban
- e = Eksentris beban (m)
- c = Kohesi (t/m²)
- γ = Berat isi tanah (kN/m³)
- Df = Kedalaman pondasi (m)
- B = Lebar kaki dinding penahan (m)
- N_c, N_q, N_γ = Faktor kapasitas daya dukung

$$SF = \frac{q_u}{q} \geq 3 \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

- q = Tekanan yang diakibatkan beban struktur (kN/m²)
- q_u = Kapasitas dukung tanah ultimit (kN/m²)

2. Stabilitas terhadap gaya internal

a) Tegangan desak

Tegangan desak merupakan tegangan yang terjadi karena beban tekan atau desak. Persamaan tegangan desak didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma_{desak} = \frac{\Sigma V}{b} \frac{1-1}{1-L} + \frac{\Sigma M}{W} \frac{1-1}{1-L} \leq \sigma_{desak \text{ bahan}} \dots\dots\dots (4)$$

b) Tegangan tarik

Tegangan desak merupakan tegangan yang terjadi karena beban tarik. Persamaan tegangan tarik didefinisikan sebagai berikut:

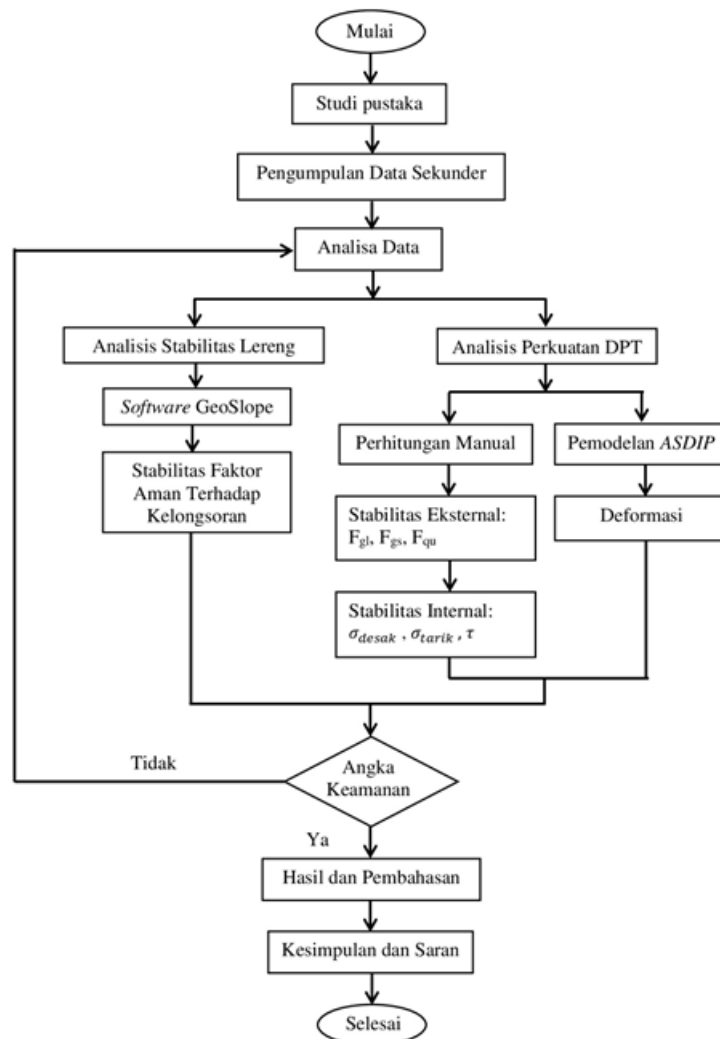
$$\sigma_{tarik} = \frac{\Sigma V}{b} \frac{1-1}{1-L} - \frac{\Sigma M}{W} \frac{1-1}{1-L} \leq \sigma_{tarik \text{ bahan}} \dots\dots\dots (5)$$

c) Tegangan geser

Tegangan geser adalah perbandingan gaya yang bersinggungan dengan permukaan benda dengan luas penampang tempat gaya beraksi. Persamaan tegangan geser didefinisikan sebagai berikut:

$$\tau = \frac{2}{3} \frac{D}{b} \frac{1-1}{1-L} \leq \sigma_{bahan} \dots\dots\dots (6)$$

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis terhadap lereng eksisting dengan dinding penahan tanah untuk mendapatkan angka angka aman lereng kondisi statis dan kondisi gempa. Analisis dilakukan dengan memasukkan data

propertis tanah maupun bentuk geometri lereng pada objek. Data parameter tanah yang didapatkan dari korelasi nilai N-SPT terhadap jenis tanah, kohesi, sudut geser, dan berat jenis disajikan oleh Tabel 5.

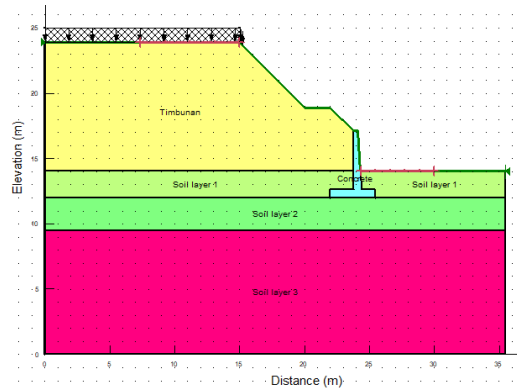
Tabel 5. Data Parameter Tanah

Parameter Tanah	Satuan	Jenis Tanah			
		Timbunan	Tanah Lapis 1	Tanah Lapis 2	Tanah Lapis 3
Tipe tanah	-	<i>Medium</i>	<i>Stiff</i>	<i>Very stiff</i>	<i>Hard</i>
Kohesi (c)	kN/m ²	10	75	100	200
Sudut geser (ϕ)	°	25	26	35	45
γ	kN/m ³	17	17	20	21

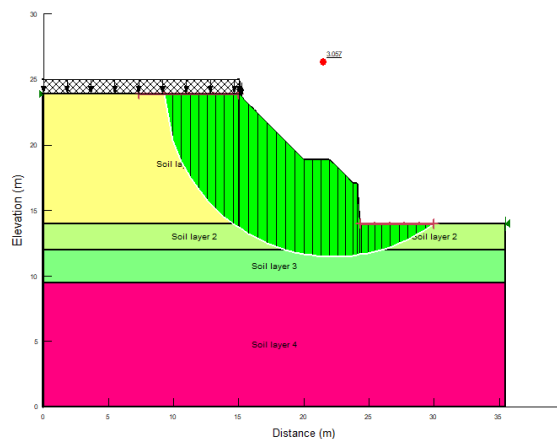
Data beban gempa didapatkan dari peta zonasi gempa Binamarga tahun 2017 mendapatkan angka percepatan gempa untuk wilayah Sigli-Banda Aceh sebesar 0,621 g dengan nilai koefisien sebesar 0,311. Data beban merata didapatkan dari penjumlahan beban lalu lintas dengan beban luar dimana pada (SNI 8460:2017) beban lalu lintas untuk kelas 1 adalah 15 kPa dan beban luar kelas 1 adalah 10 kPa, maka beban meratanya adalah 25 kPa atau 25 kN/m³.

1. Hasil analisis menggunakan program GeoStudio 2012

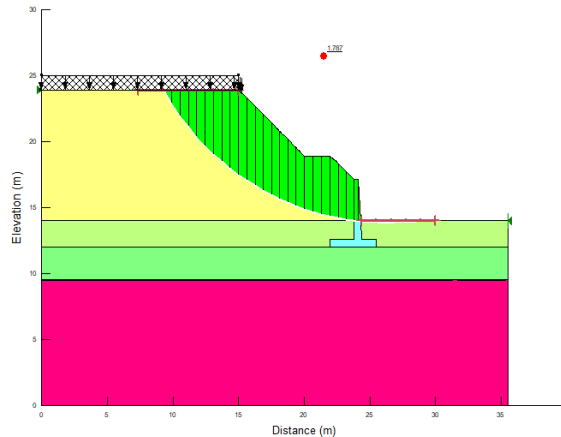
Analisa stabilitas lereng dengan dinding penahan dilakukan untuk memperoleh angka aman. Analisa dilakukan menggunakan program *GeoStudio* 2012, bentuk geometri pemodelan lereng ditampilkan pada Gambar 5, hasil pemodelan pada kondisi statis (tanpa beban gempa) disajikan pada Gambar 6 dan pemodelan pada kondisi gempa disajikan pada Gambar 7.



Gambar 3. Geometri Lereng



Gambar 6. Nilai Faktor Keamanan Bidang Longsor Kondisi Statis (Tanpa Beban Gempa)



Gambar 7. Nilai Faktor Keamanan Bidang Longsor dengan Beban Gempa

Rekapitulasi angka aman yang telah didapatkan dengan metode *Bishop* di Jalan Tol Ruas Sigli-Banda Aceh STA 21+275 disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Angka Aman Lereng dengan *GeoStudio* 2012

No	Kasus Lereng	Angka aman	SNI	Status Lereng
1	Tanpa beban gempa	3,057	FK > 1,5	Lereng stabil
2	Dengan beban gempa	1,787	FK > 1,1	Lereng stabil

Angka keamanan lereng eksisting dengan perkuatan dinding kantilever memiliki nilai faktor keamanan melebihi angka aman lebih dari 1,50 pada kondisi statis dan lebih dari 1,10 untuk kondisi gempa. Berdasarkan (SNI 8460:2017) lereng dinyatakan sebagai lereng stabil atau aman.

2. Hasil Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan *ASDIP Retain v.4.7.6*

Dalam penelitian ini menganalisis menggunakan tipe dinding kantilever dan data geometri seperti material beton, tinggi dinding perencanaan 4,5 m, ketebalan dinding 30 cm dan 60 cm, ketebalan pijakan 60 cm, panjang pijakan 1,1 m dan 1,8 m, tinggi tanah timbunan 4 m, dan sudut kemiringan timbunan 28°. Setelah data geometri dimasukkan hasil *running report* akan otomatis menunjukkan nilai faktor keamanan, perhitungan geser, material, dan rasio desain pijakan.

- 1) Faktor keamanan
 - a. Faktor keamanan guling mendapatkan nilai 3,02 lebih dari 1,50 maka aman
 - b. Faktor keamanan geser mendapatkan nilai 5,81 lebih dari 1,50 maka aman
 - c. Gaya geser pada ketinggian kritis 95,3 kN/m
 - d. Tahanan geser 328 kN/m
- 2) Perhitungan gaya geser pijakan pada area kritis
 - a. Gaya geser pijakan depan 62,3 kN/m
 - b. Gaya geser pijakan belakang 239,8 kN/m
- 3) Material dinding dan pijakan
 - a. Beton $f'c$ 27,6 MPa
 - b. Tulangan f_y 413,7 MPa
 - c. Batuan dinding 10,3 MPa
- 4) Rasio desain pijakan depan
 - a. *Bending* 0,11 kurang dari 1,00 maka aman
 - b. Geser 0,18 kurang dari 1,00 maka aman
- 5) Rasio desain pijakan belakang
 - a. *Bending* 0,34 kurang dari 1,00 maka aman

- b. Geser 0,68 kurang dari 1,00 maka aman

Hasil analisis faktor keamanan dinding penahan tanah menggunakan *ASDIP Retain v.4.7.6* terhadap gaya guling, dan gaya geser mendapatkan faktor keamanan guling 3,02 dan faktor keamanan geser 5,81 dimana lebih dari 1,50 berdasarkan faktor keamanan (SNI 8460:2017). Rasio desain pijakan depan dengan pembengkokan 0,11 kurang dari 1,00 maka aman, geser 0,18 kurang dari 1,00 maka aman. Rasio desain pijakan belakang dengan pembengkokan 0,34 kurang dari 1,00 maka aman, geser 0,68 < 1,00 maka aman.

3. Hasil Analisis Perkuatan Dinding Penahan Tanah Menggunakan Perhitungan Manual

Hasil rekapitulasi nilai keamanan gaya eksternal terhadap stabilitas penggulingan, pergeseran dan keruntuhan daya dukung pada dinding penahan tanah kondisi statis ditampilkan pada Tabel 7 dan untuk kondisi gempa ditampilkan pada Tabel 8. Hasil rekapitulasi nilai SF gaya internal untuk kondisi statis ditampilkan pada Tabel 9 dan SF kondisi gempa ditampilkan sebagaimana pada Tabel 10.

Tabel 7. Hasil Rekapitulasi Stabilitas terhadap Gaya Eksternal Kondisi Statis

No.	Kondisi	Nilai SF	Keterangan
1	Stabilitas terhadap penggulingan	3,034	Aman
2	Stabilitas terhadap pergeseran	1,921	Aman
3	Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung	14,19	Aman

Tabel 8. Hasil Rekapitulasi Stabilitas terhadap Gaya Eksternal Kondisi Gempa

No.	Kondisi	Nilai SF	Keterangan
1	Stabilitas terhadap penggulingan	2,077	Aman
2	Stabilitas terhadap pergeseran	1,775	Aman
3	Stabilitas terhadap keruntuhan daya dukung	9,631	Aman

Tabel 9. Hasil Rekapitulasi Stabilitas terhadap Gaya Internal Kondisi Statis

No.	Kondisi	Nilai (kN/m ²)	Keterangan
1	Stabilitas terhadap σ desak	130,61	Aman
2	Stabilitas terhadap σ tarik	-6,73	Aman
3	Stabilitas terhadap τ geser	144,7	Aman

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi Stabilitas terhadap Gaya Internal Kondisi Gempa

No.	Kondisi	Nilai (kN/m ²)	Keterangan
1	Stabilitas terhadap σ desak	183,1	Aman
2	Stabilitas terhadap σ tarik	-5,33	Aman
3	Stabilitas terhadap τ geser	153,6	Aman

Hasil analisis faktor keamanan lereng dengan perkuatan dinding kantilever berdasarkan perhitungan manual terhadap gaya eksternal dan internal yaitu mendapatkan gaya eksternal kondisi statis dengan faktor keamanan guling 3,034 lebih dari 2,00 maka aman, faktor keamanan geser 1,921 lebih dari 1,50 maka aman, daya dukung 14,19 lebih dari 3,00 maka aman. Setelah penerapan kondisi gempa diperoleh faktor keamanan guling 2,077 lebih dari 2,00 maka aman, faktor keamanan geser 1,775 lebih dari 1,50 maka aman, daya dukung 9,631 lebih dari 3,00 maka aman. Gaya internal kondisi statis dengan tegangan desak 130,61 kN/m² kurang dari tegangan bahan sebesar 7.500 kN/m² maka aman, tegangan tarik - 6,73 kN/m² kurang dari tegangan bahan maka aman, kuat geser tanah 144,7 kN/m² kurang dari tegangan bahan maka aman dan pada kondisi gempa diperoleh tegangan desak 183,1 kN/m² kurang dari tegangan bahan maka aman,

tegangan tarik $-5,33 \text{ kN/m}^2$ kurang dari tegangan bahan maka aman, kuat geser tanah $153,6 \text{ kN/m}^2$ kurang dari tegangan bahan maka aman.

SIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini mengenai perkuatan lereng dengan dinding penahan tanah pada kondisi statis dan kondisi gempa pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Trans Sumatera Ruas Sigli-Banda Aceh Seksi 1 pada STA 21+725 menggunakan *software GeoStudio 2012*, *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual. Diperoleh bahwa lereng dengan dinding penahan tanah menggunakan *software GeoStudio 2012* pada kondisi statis didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 3,057 dan pada kondisi gempa didapatkan nilai faktor keamanan sebesar 1,787 dimana lebih dari 1,50 maka lereng stabil atau aman terhadap keruntuhan berdasarkan SNI 8460:2017. Hasil *ASDIP Retain v.4.7.6*, dan perhitungan manual juga selaras dengan *GeoStudio 2012*, bahwa stabilitas terhadap gaya guling dan geser memberikan nilai faktor keamanan $>1,5$ dan > 3 untuk faktor keamanan terhadap keruntuhan daya dukung. Hasil perhitungan manual untuk kondisi gempa juga memenuhi syarat faktor keamanan berdasarkan SNI 8460:2017.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, A., Lastiasih, Y., & Mochtar, I. B. (2017). *TUGAS AKHIR: ANALISA PERBANDINGAN PERENCANAAN PONDASI TIANG PANCANG MENGGUNAKAN BERBAGAI MACAM METODE PADA PROYEK APARTEMEN THE FRONTAGE SURABAYA*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arif, M., & Ispandari. (2022). The Effect of Excavation Work to Soil Slope Stability. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 3(2), 118-125.
- ASDIP RETAIN. (2023). *ASDIP RETAIN, User's Manual*. Orlando, Florida, USA: ASDIP Structural Software.
- Atikah, D., Juwono, P. T., & Hendrawan, A. P. (2017). PENGARUH HUJAN PADA STABILITAS LERENGDI JALAN TOL GEMPOL –PANDAAN. *Jurnal Teknik Pengairan*, 8(1), 79-88.
- Bowles, J. E. (1977). *Foundation Analysis and Design*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- GeoStudio. (2021). *Stability Modeling with GeoStudio*. Calgary, Canada: GEO-SLOPE International Ltd.
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Analisis dan Perancangan FONDASI I, Edisi kedua*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Haribulan, R., Gosal, P. H., & Karongkong, H. H. (2019). KAJIAN KERENTANAN FISIK BENCANA LONGSOR DI KECAMATAN TOMOHON UTARA. *Jurnal Spasial*, 6(3), 714-724.
- Hartono, J. (2020). ANALISIS PENANGANAN LONGSORAN DENGAN PERKUATAN MINI PILE MENGGUNAKAN SOFTWARE PLAXIS V 8.2 PEMBANGUNAN JALAN TOL BALIKPAPAN SAMARINDA. *PORTAL Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), 9-20.
- Haryadi, S., & Achmat, W. (2016). Kajian Stabilitas Lereng Timbunan Pada PT Kayan Kaltara Coal Job Site PT Nata Energi Resaures Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara.
- Hidayat, R., Wijaya, I. E., & Munir, M. D. (2023). MEKANISME LONGSOR AKIBAT INFILTRASI DARI GENANGAN AIR (STUDI KASUS LONGSOR DI LAHAT, SUMATERA SELATAN). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(1), 1-12.
- Khoiroh, I. D., Marhendi, T., & Azizi, A. (2013). ANALISIS STABILITAS LERENG JALAN PRUPUK-BUMIAYU KABUPATEN BREBES DENGAN METODE FELLINIUS DAN SLOPE/W. *Techno*, 14(2), 52-63.
- Khuzaifah, E. (2019). Studi Tentang Dinding Penahan Tanah (Retaining Wall). *Jurnal Teknik Sipil*, 14-17.
- Lini Bina Marga. (2017). *APLIKASI LINI*. Retrieved from Website lini bina marga, Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan: <https://lini.binamarga.pu.go.id/>
- Muchtaranda, I. H., Sulistyowati, T., & Muhajirah. (2022). PENGARUH HUJAN TERHADAP STABILITAS LERENG DENGAN RETAKAN PADA TANAH KOHESIF (Studi Kasus : Tanah Longsor di Desa Guntur Macan Kecamatan Gunung Sari Kabupaten Lombok Barat). *Spektrum Sipil*, 9(2), 97-110.

- Nuraini, R., & Ismaili, A. F. (2022). Slope Stability Analysis on Railroad Line in Lahat Lubuk Linggau, South Sumatra. *International Journal of Engineering, Technology and Natural Sciences*, 4(2), 128-141.
- Ramadhan, R. G., Suwarno, & Mochtar, N. E. (2019). Analisis Penyebab Kelongsoran Dan Alternatif Perkuatan Tanah Timbunan Ruas Jalan Tol Batang-Semarang STA 383+100-STA 383+900. *JURNAL TEKNIK ITS*, 8(2), E84-E92.
- Ray, R. L., & De Smedt, F. (2009). Slope stability analysis on a regional scale using GIS: a case study from Dhading, Nepal. *Environ Geol*, 57, 1603-1611.
- Razali, I. H., Taib, A. M., Abd Rahman, N., Hasbollah, D. Z., Md Dan, M. F., Ramli, A. B., & Ibrahim, A. (2023). Slope stability analysis of riverbank in Malaysia with the effects of vegetation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 129, 103334.
- Sampouw, B. G., Mandagi, A. T., & Ticoh, J. H. (2019). ANALISIS KESTABILAN LERENG SEBAGAI PERKUATAN DESAIN DINDING MSE PADA RUAS JALAN TOL 2 MANADO - BITUNG STA 9+745 MENGGUNAKAN SOFTWARE SLIDE V.6.005. *Jurnal Sipil Statik*, 7(12), 1649-1660.
- Santoso, D. F., Saputra, R. I., Kusrin, & Situmorang, A. (2022). Analisa Penanganan Longsor Menggunakan Software Geoslope 2012. Studi kasus : Jalan Tol Cikopo–Palimanan (CIPALI) KM 122. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 5(1), 37-44.
- Setyawan, A. (2017). *TUGAS AKHIR: ANALISIS STABILITAS DINDING PENAHAN TANAH MENGGUNAKAN PONDASI CERUCUK KAYU DAN MINIPILE PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN PONCOSARI – GREGES, YOGYAKARTA STA 9 + 350 / 0 + 000*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- SNI 8460:2017. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Surjandari, N. S., Fitri, S. N., Purwana, Y. M., Prakosa, B. B., Djarwanti, N., Setiawan, B., . . . Saido, A. P. (2021). Slope stability analysis in various Terraces model (case study: Sendangmulyo, Tirtomulyo District, Wonogiri Regency). *Journal of Physics: Conference Series*. 1858 012005, pp. 1-6. Surakarta, Indonesia: The 7th International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application (ICETIA 2020), IOP Publishing.
- Wibowo, H. A., Pratikso, & Sumirin. (2023). Pengaruh Sudut Pemasangan Nail Terhadap Stabilisasi Lereng Metode Soil Nailing Di Ruas Jalan Giriwoyo-Glonggong. *TEKNIKA*, 18(1), 1-11.