

# ANALISIS PENGARUH KUAT GESER PUNCAK DAN SISA TERHADAP STABILITAS LERENG DENGAN PERKUATAN TIANG BOR

Muhammad Fahmi Amrullah<sup>1</sup>, Muhammad Rifqi Abdurrozak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : muhammadfahmia@gmail.com

<sup>2</sup>Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : 135111101@staf.uui.ac.id

## ABSTRACT

KALTIM.PROKAL.CO (2013) *Oil and gas industry in East Kalimantan use pipes as distribution channels. Those Pipeline run along the coast, from senipah to Bontang. Those pipeline has a very high capacity of more than 3.000 million standard cubic feet per day. That is the reason the pipeline maintenances are required. One of them is landslide area remediation or area, that are indicated instable. It is necessary to analyse the slope by simulating the possible conditions such as decreased shear strength, increased volume of weight and earthquake effect. Slope stability analysis performed with help SLOPE/W program from GEOSTUDIO. This study aims to determine the safety factor (FS) of slope without reinforcement and after the bored pile reinforcement are installed. The bored pile reinforcement analysis used Slope Stability and Anti Slide Pile program from GEO5. The used conditions to simulate the slope are peak shear strength, residual shear strength, weight of volume in wet condition, weight of volume in saturated condition and earthquake coefficient of 0,08g. The bored pile reinforcement has diameter of 0,8 m and the pile spacing is 1,2 m. Based on the result of the research, the slope without reinforcement with peak shear strength parameter is in stable condition and the slope with residual shear strength parameter is in unstable condition ( $SF < 1$ ). The increased weight of volume (saturated) and earthquake result a decreased factor of safety. Critical factor of safety (minimum) is on condition 8 with factor of safety 0,661. This number indicate, that the slope is unstable or a landslide is occurred. The bored pile placed 10 m and 20 m from the toe of the slope and has a length of 15 m. The used longitudinal rebar are 30 pieces for pile 1 and 26 pieces for pile 2 with diameter of 32 mm and the used transverse rebar has diameter of 13 mm and fitted with a distance of 200 mm for both piles. The slope is in stable condition, after the bored piles are installed ( $FS > 1,5$ ).*

**Keywords :** *slope stability, bored pile, SLOPE/W, peak, residual.*

## PENDAHULUAN

Pipa yang membentang sepanjang garis pantai dari Senipah hingga Bontang pada perusahaan penghasil minyak dan gas di Kalimantan Timur memiliki kapasitas yang sangat tinggi hingga lebih dari 3.000 *million standard cubic feet per day*. Hal ini menuntut adanya pemeliharaan wilayah jalur pipa. Salah satunya adalah remediasi area longsor atau yang diindikasikan

berpotensi longsor. Menurut Hardiyatmo (2004) pemicu terjadinya tanah longsor diindikasikan berupa penambahan beban pada lereng, penggalian atau pemotongan tanah pada kaki lereng, kenaikan tekanan tanah lateral oleh air, gempa bumi dan penurunan tahanan geser tanah pembentuk lereng. Untuk itu perlu diadakan penelitian analisis kestabilan lereng dengan mensimulasikan kondisi yang dapat terjadi untuk mengetahui keamanan lereng terhadap longsor.

Pada penelitian ini dilakukan analisis kestabilan lereng dengan lokasi pada kawasan jalur pipa gas milik *TOTAL E&P INDONESIA* yang terletak di daerah Senipah, Kalimantan Timur diduga memiliki potensi longsor pada lereng yang ada di sebelah jalur pipa tersebut. Lereng tersebut mempunyai ketinggian  $\pm 14$  m dan berada pada jalur pipa gas atau yang disebut *Right of Way (ROW)*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan lereng tanpa perkuatan menggunakan parameter *peak undrained shear strength* dan *residual undrained shear strength*, variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa berdasarkan analisis menggunakan program *SLOPE/W*, mengetahui rekomendasi perkuatan pada lereng dengan tiang dengan menggunakan program *Slope Stability* dan *Anti-Slide-Piles*, dan mengetahui nilai faktor keamanan lereng dengan perkuatan menggunakan variasi parameter *peak undrained shear strength* dan *residual undrained shear strength*, variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa berdasarkan analisis menggunakan program *SLOPE/W*.

## STUDI PUSTAKA

Penelitian mengenai stabilitas lereng dengan perkuatan sudah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya. Hal tersebut memberikan banyak referensi bagi penulis.

Arif dan Widodo (2008) dalam penelitiannya menyatakan kondisi semua lapisan tanah yang jenuh oleh air tanah pada lokasi terancam longsor.

Zydroń (2011) menyatakan bahwa untuk menghitung stabilitas lereng yang aman disarankan menggunakan parameter kuat geser sisa pada kadar air maksimum. Dalam penelitiannya didapatkan kuat geser sisa yang mencapai 80% dari kuat geser puncak.

Goro (2007) menyatakan faktor keamanan pada analisis statik ekuivalen lebih kecil daripada faktor keamanan pada analisis dinamik.

Famungkas (2015) dalam penelitiannya dimaksudkan untuk mengetahui penyebab longsor lereng sebelum perkuatan dan kerusakan penahan tanah eksisting serta menentukan stabilitas lereng dan merencanakan perkuatan tanah dengan geotekstil. Hasil penelitian didapatkan bahwa FK lereng sebelum diperkuat sebesar 0,66, FK lereng setelah diperkuat dengan geotekstil sebesar 1,893.

Akmal (2015) menyatakan *SLOPE/W* merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan lereng baik yang tersusun oleh tanah maupun batuan. Dalam penelitiannya dimaksudkan untuk mengkaji ulang Analisis *static equivalen* terhadap Analisis dinamik pada konstruksi timbunan, menggunakan Metode Elemen Hingga dengan bantuan program komputer *Plaxis* dan *Geo-Office*. Hasil analisis didapatkan faktor keamanan sebesar 1,334 dan diperlukan perkuatan lereng dengan menggunakan bronjong dengan ketinggian 8 m dan lebar 5 m.

Pentawan (2017) menyatakan getaran gempa bumi pada lereng gunung api atau pegunungan dapat memicu longsor, karena getaran gempa dapat memperbesar gaya atau tegangan penggerak massa tanah/batuan pada lereng, yang sekaligus juga mengurangi besarnya gaya atau tegangan penahan gerakan. Pada penelitiannya menggunakan program *GEOSTUDIO SLOPE/W 2007* dalam menganalisis stabilitas lereng dengan jenis tanah liat berdebu pada kondisi tidak jenuh, kondisi jenuh sebagian, dan kondisi jenuh disimpulkan bahwa lereng tergolong stabil pada kondisi tidak jenuh (kering), sedangkan kondisi jenuh lereng tergolong tidak stabil/tidak aman.

Amalia (2015) dalam penelitiannya membandingkan faktor keamanan stabilitas lereng dengan kondisi lereng asli (kemarau), penambahan beban (*cottage*), dan adanya percepatan gempa. Didapatkan nilai faktor keamanan stabilitas lereng pada kondisi asli atau musim kemarau sebesar 1,381, hasil penambahan beban *cottage* tidak

berpengaruh terhadap stabilitas lereng dengan faktor aman sebesar 1,381 dan faktor keamanan turun menjadi 1,02 dengan kondisi adanya koefisien percepatan gempa (kg) sebesar 0,355g.

Pentawan (2017) menyatakan nilai bobot isi tanah atau batuan akan menentukan besarnya beban yang diterima pada permukaan bidang longsor, dinyatakan dalam satuan berat per volume. Naiknya berat volume atau berat isi tanah dapat disebabkan oleh air hujan seperti yang dinyatakan oleh Permana (2016), longsor biasanya terjadi saat musim penghujan karena air hujan akan masuk ke dalam tanah dan akan menyebabkan tanah menjadi jenuh, tanah yang jenuh terdapat tekanan air pori, karena hujan yang lama maka tekanan air pori akan naik, naiknya tekanan air pori menyebabkan kuat geser tanah menjadi kecil dan pada akhirnya tanah menjadi labil dan rawan longsor.

Nurmanza dkk. (2014) menyatakan *pile* digunakan untuk menstabilkan kelongsoran tanah aktif. *Pile* yang digunakan pada stabilitas lereng umumnya dibebani oleh gaya lateral perpindahan horizontal tanah di sekelilingnya dan karena itulah pile tersebut dinamakan sebagai pile pasif. Dalam penelitiannya, kondisi stabilitas lereng eksisting sebesar 0,685. Kondisi stabilitas lereng setelah diperkuat dengan pile adalah sebesar 1,55.

Pratama dkk. (2014) melakukan penelitian penggunaan *borpile* sebagai perkuatan lereng. Perkuatan *borpile* yang digunakan berjarak 11 meter dan terletak pada elevasi +1191,5 dengan diameter 0,8 m dan berjarak 16 m dari As jalan. Hasil analisa menunjukkan bahwa alternatif penanganan ini meningkatkan faktor keamanan menjadi 1,6383 yang sebelumnya bernilai 1,3476.

## LANDASAN TEORI

### Kuat Geser Tanah

Coulomb (1776) mendefinisikan kuat geser dalam Persamaan 1 sebagai berikut.

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

dengan :

- $\tau$  = kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup>),
- $c$  = kohesi tanah (kN/m<sup>2</sup>),
- $\phi$  = sudut geser dalam tanah (°),
- $\sigma$  = tegangan normal pada bidang runtuh (kN/m<sup>2</sup>).

Duncan (2014) menyatakan, bahwa *Undrained Strength* adalah kekuatan tanah pada saat dibebani hingga runtuh dalam keadaan tak terdrainasi. Perilaku ini dirumuskan pada Persamaan 2 sebagai berikut.

$$c = S_u ; \phi_u = 0 \quad (2)$$

dengan :

- $c$  = kohesi total,
- $S_u$  = undrained shear strength,
- $\phi_u$  = sudut geser dalam total.

Terzaghi (1936), Henkel (1957), Skempton (1964), Bjerrum (1967) dalam Duncan (2014) menunjukkan, bahwa faktor keamanan lereng lempung keras dengan parameter kuat geser puncak tak terganggu lebih besar dibandingkan dengan yang terjadi pada saat longsor.

Skempton (1970) dalam Duncan (2014) menyatakan kejadian tersebut dapat terjadi dikarenakan pada kenyataannya di lapangan terjadi lebih banyak pengembangan dan pelunakan yang terjadi daripada yang terjadi di laboratorium. Pengujian untuk menghitung lempung yang lunak sepenuhnya dan kuat geser sisa digunakan specimen pengujian yang telah dibentuk kembali (*remolded*).

### Korelasi N-SPT dengan Sudut Geser Dalam

Korelasi N-SPT dengan sudut geser dalam (Duncan, 2014) dapat dilihat pada Persamaan 3 dan 4 berikut.

$$\phi = \sqrt{12N + 15} \quad (3)$$

$$\phi = 20 + 3,5\sqrt{N} \quad (4)$$

dengan :

- $\phi$  = sudut geser dalam tanah (°),

N = Nilai pukulan *SPT*.

### Modulus Elastis Tanah (E) dan *Poisson's Ratio*

Modulus elastis yang dikorelasikan terhadap kuat geser *undrained* untuk tanah lempung dan nilai *SPT* untuk tanah pasir ditunjukkan pada Persamaan 5 dan 6.

$$E = 500 \text{ sampai } 1500 S_u \quad (5)$$

$$E = 10 + \frac{(N+15)k}{f t^2} \quad (6)$$

dengan :

E = Modulus Elastisitas

N = Nilai pukulan *SPT*.

Untuk menentukan *poisson's ratio* Hardiyatmo (2004) dalam bukunya mencantumkan tabel perkiraan angka *poisson's ratio* terhadap jenis tanah yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1 Perkiraan *Poisson's Ratio***

Macam Tanah	$\mu$
Lempung jenuh	0,40-0,50
Lempung tak jenuh	0,10-1,30
Lempung berpasir	0,20-0,30
Lantau	0,30-0,35
Pasir padat	0,20-0,40
Pasir kasar ( $e=0,4-0,7$ )	0,15
Pasir halus ( $e=0,4-0,7$ )	0,25
Batu	
<i>Loess</i>	0,10-0,40
	0,10-0,30

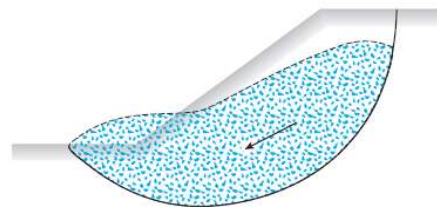
(Sumber : Hardiyatmo, 2004)

### Keruntuhan Lereng

Cruden dan Varnes (1996) dalam Das (2010) mengklasifikasikan keruntuhan lereng dalam 5 kategori, yaitu tipe runtutan, jungkiran, longsoran, sebaran, dan aliran.

Collin (1846) dalam Hardiyatmo (2004) menyatakan bahwa keruntuhan lereng dari

jenis tanah yang berkohefif berupa lingkaran seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1 Keruntuhan Lereng Berbentuk Longsoran**

(Sumber : Das,2010)

### Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Das (2010) faktor keamanan secara umum didefinisikan dalam Persamaan 7 sebagai berikut ini.

$$F_s = \tau_f / \tau_d \quad (7)$$

dengan :

$F_s$  = Factor of safety,

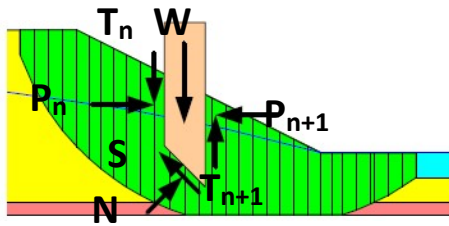
$\tau_f$  = kuat geser tanah,

$\tau_d$  = tegangan geser yang terjadi sepanjang bidang runtuh.

Angka 1 pada faktor keamanan adalah angka kritis terjadinya keruntuhan lereng dan angka aman yang biasanya digunakan untuk mendesain stabilitas lereng adalah 1,5.

Metode yang dapat digunakan dalam analisis stabilitas lereng, yaitu metode *Limit Equilibrium* dan *Finite Element*. Perangkat lunak modern berbasis *Limit Equilibrium* seperti *SLOPE/W* memungkinkan untuk menangani analisis yang semakin kompleks. Dalam analisis stabilitas lereng, program *SLOPE/W* menggunakan metode irisan. Metode irisan yang tersedia pada program *SLOPE/W* yaitu *Fellenius(1936)*, *Janbu(1954)*, *Bishop(1955)*, *Morgenstern Price(1965)* dan *Spencer(1967)*.

Pada Gambar 2 dapat dilihat ilustrasi gaya-gaya yang bekerja pada irisan.

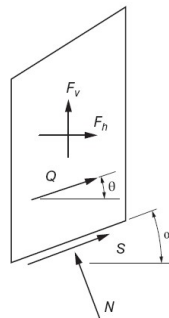


**Gambar 2 Ilustrasi Gaya yang Bekerja pada Irisan**

(Sumber : *GEO-SLOPE International Ltd.*, 2012)

Duncan (2014) menjelaskan metode Spencer adalah salah satu metode *Limit Equilibrium* dalam perhitungan stabilitas lereng.

Faktor keamanan (F) dan kemiringan gaya potong (Θ) didapatkan dengan hasil *trial and error*, sehingga didapatkan nilai yang sama. Penjelasan gaya yang bekerja pada sebuah potongan pada Gambar 3 sebagai berikut.



**Gambar 3 Gaya yang Bekerja Pada Metode Spencer**

(Sumber : Duncan, 2014)

### Berat Volume Tanah Jenuh Air ( $\gamma_{sat}$ )

Untuk menghitung berat volume tanah jenuh air digunakan Persamaan 9 dan 10 sebagai berikut.

$$e = \frac{G_s \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \quad (9)$$

dengan :

- e = angka pori
- $\gamma_w$  = berat volume air ( $1 \text{ kN/m}^3$ ),
- $G_s$  = berat jenis tanah,
- $\gamma_d$  = berat volume tanah kering oven.

$$\gamma_{sat} = \gamma_d + \left(\frac{e}{1+e}\right) \gamma_w \quad (10)$$

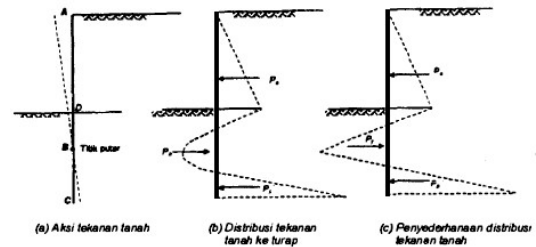
dengan :

$\gamma_{sat}$  = berat volume tanah jenuh air,

$\gamma_w$  = berat volume tanah basah.

### Perkuatan Lereng dengan *Bored Pile*

Hardiyatmo (2008) menjelaskan, bahwa tekanan tanah yang bekerja pada tiang dijelaskan pada Gambar 4 berikut.



**Gambar 4 Distribusi Tekanan Lateral Tanah pada Tiang**

(Sumber : Hardiyatmo, 2008)

### Program *Anti Slide Pile*

*Fine Ltd.* (2018) dalam panduan pengguna untuk program *GEO 5* menjelaskan, bahwa program *Anti Slide Pile* digunakan untuk mendesain dinding tiang guna menstabilkan pergerakan lereng atau meningkatkan faktor keamanan lereng. Analisis diawali dengan analisis stabilitas lereng dengan program *Slope Stability* untuk mendapatkan gaya aktif dan pasif yang bekerja pada tiang. Dalam program *Anti Slide Pile* dapat dilakukan perhitungan gaya dalam pada tiang, deformasi tiang dan dimensi perkuatan tiang.

### METODE PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian dalam tugas akhir ini, diperlukan data-data pendukung yaitu data geometri lereng dan data parameter tanah. Setelah mendapatkan data, selanjutnya dilakukan analisis dengan program *SLOPE/W* dengan memasukkan geometri dan parameter tanah pada setiap lapisan di masing-masing kondisi seperti pada Tabel 2 sebagai berikut.

**Tabel 2 Kondisi Analisis Faktor Keamanan Lereng Tanpa Perkuatan**

Kondisi	Undrained shear strength, $C_u$		Berat volume, $\gamma$		Beban gempa
	Peak	Residua $l$	$\gamma_{wet}$	$\gamma_{sat}$	
1	√		√		
2	√		√		√
3	√			√	
4	√			√	√
5		√	√		
6		√	√		√
7		√		√	
8		√		√	√

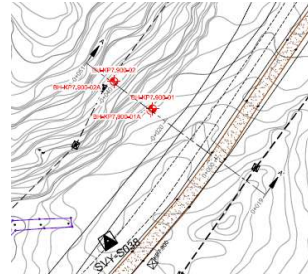
Kemudian dilakukan analisis perkuatan tiang bor dengan program *Slope Stability* dan *Anti Slide Pile* untuk mendapatkan gaya gaya yang bekerja pada tiang dan konfigurasi penulangan tiang untuk menahan kuat momen dan kuat geser yang terjadi. Dengan hasil konfigurasi perkuatan tiang bor dan nilai kuat geser tiang, parameter tersebut dimasukkan ke dalam program *SLOPE/W* kembali untuk mengetahui faktor keamanan lereng dengan adanya faktor perkuatan dengan tiang bor.

## HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan menggunakan *SLOPE/W*

Data tanah yang digunakan berupa data *Bor Log* pada titik BH-KP 7.9-01, BH-KP 7.9-02 . Data tersebut berada pada titik potong lereng yang akan dianalisis. Titik-titik

pengambilan data tanah dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.

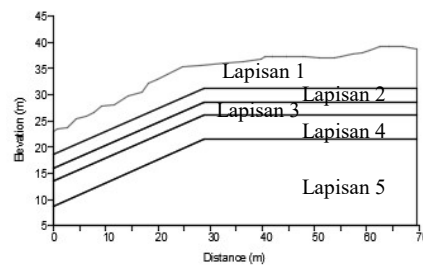


**Gambar 5 Titik Borhole**

(Sumber : TOTAL E&P INDONESIA, 2016)

### Geometri Lereng

Potongan lereng yang ditinjau adalah potongan A-A' dan hasil dari penggambaran ulang di AutoCAD 2015 dapat dilihat pada Gambar 6 berikut.



**Gambar 6 Potongan Melintang A-A' Lereng**

### Analisis Stabilitas Lereng Tanpa Perkuatan menggunakan *SLOPE/W*

Parameter data tanah pada kondisi 1 sampai dengan 8 dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

**Tabel 3 Kondisi Lapisan Tanah untuk Analisis dengan *SLOPE/W***

Lapisan		1	2	3	4	5	
Kondisi	1&2	$\gamma$	19,64	19,75	16,23	19,52	20,73
		$c$	90,77	147,6	0,00	89,12	0,00
		$\phi$	-	-	29,62	-	33,87
	3&4	$\gamma$	20,19	20,04	19,41	19,67	21,15
		$c$	90,77	147,6	0,00	89,12	0,00
		$\phi$	-	-	29,62	-	33,87
	5&6	$\gamma$	19,64	19,75	16,23	19,52	20,73
		$c$	19,53	51,90	0,00	32,85	0,00
		$\phi$	-	-	29,62	-	33,87
	7&8	$\gamma$	20,19	20,04	19,41	19,67	21,15
		$c$	19,53	51,90	0,00	32,85	0,00
		$\phi$	-	-	29,62	-	33,87

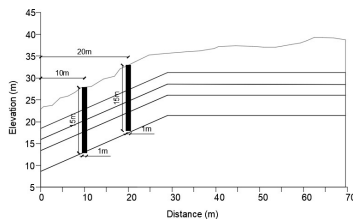
Didapatkan hasil analisis stabilitas lereng dengan program *SLOPE/W* yang dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

**Tabel 4 Hasil Analisis *SLOPE/W* Tanpa Perkuatan**

Kondisi	1	2	3	4	5	6	7	8
Faktor Keamanan	2,662	2,104	2,575	2,039	0,851	0,682	0,824	0,661

### Analisis Stabilitas Lereng dengan program *Slope Stability* dan *Anti Slide Piles*

Konfigurasi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



**Gambar 7 Konfigurasi Perkuatan Tiang**

*Max. Bearing Capacity* untuk semua tiang sementara dimasukkan sebesar 450 kN. Nilai ini akan diubah setelah dilakukan verifikasi perkuatan tiang. Dari hasil analisis dengan program *Slope Stability* dan *Anti Slide Piles* didapatkan konfigurasi tiang bor yang dapat dilihat pada Tabel 6 sebagai berikut.

**Tabel 6 Hasil Analisis Perkuatan Tiang**

Tiang	1	2
Jarak Antar Tiang [m]	1,2	1,2

Diameter [m]	0,8	0,8
Panjang Tiang [m]	15	15
Momen Maksimum [kNm]	2280,46	1940,42
Gaya Geser Maksimum [kN]	583,01	572,03
Deformasi Maksimal [mm]	190,4	128,7
Kapasitas Momen [kNm]	2323,43	2058,77
Kapasitas Geser [kN]	597,76	597,76
Tulangan Longitudinal	30D32	26D32
Tulangan Transversal	D13-200	D13-200

### Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan menggunakan *SLOPE/W*

Dari verifikasi menggunakan program *Anti Slide Pile* didapatkan kapasitas geser tiang sebesar 597,76 kN. Angka tersebut dimasukkan ke dalam program *SLOPE/W* menggunakan perintah *Reinforcement Load*. Penambahan perkuatan tiang dilakukan pada seluruh kondisi yang telah dianalisis sebelumnya tanpa adanya perkuatan (kondisi 1-8). Dengan langkah yang sama seperti analisis sebelumnya didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 7 sebagai berikut.

**Tabel 7 Hasil Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Menggunakan *SLOPE/W***

Kondisi	1	2	3	4	5	6	7	8
Faktor Keamanan	4,302	3,226	4,256	3,002	2,436	1,529	2,241	1,483

### Pengaruh Perubahan Berat Volume dan Gaya Gempa

Pada Tabel 8 dan 9 dapat dilihat pengaruh perubahan berat volume tanah dan gaya gempa terhadap faktor keamanan lereng

**Tabel 8 Pengaruh Kenaikan Berat Volume Tanah terhadap Faktor Keamanan Lereng**

Kondisi	FK tanpa perkuatan	% penurunan FK	rata-rata % penurunan FK	FK dengan perkuatan	% penurunan FK	rata-rata % penurunan FK
1 ( <i>peak-wet</i> )	2,662	3,27%	3,18%	4,302	1,07%	4,01%
3 ( <i>peak-sat</i> )	2,575			4,256		
2 ( <i>peak-wet-quake</i> )	2,104	3,09%		3,226	6,94%	
4 ( <i>peak-sat-quake</i> )	2,039			3,002		
5 ( <i>res-wet</i> )	0,851	3,17%	3,13%	2,436	8,00%	5,51%
7 ( <i>res-sat</i> )	0,824			2,241		
6 ( <i>res-wet-quake</i> )	0,682	3,08%		1,529	3,01%	
8 ( <i>res-sat-quake</i> )	0,661			1,483		

**Tabel 9 Pengaruh Gempa terhadap Faktor Keamanan Lereng**

Kondisi	FK tanpa perkuatan	% penurunan FK	rata-rata % penurunan FK	FK dengan perkuatan	% penurunan FK	rata-rata % penurunan FK
1 ( <i>peak-wet</i> )	2,662	20,96%	20,89%	4,302	25,01%	27,24%
2 ( <i>peak-wet-quake</i> )	2,104			3,226		
3 ( <i>peak-sat</i> )	2,575	20,82%		4,256	29,46%	
4 ( <i>peak-sat-quake</i> )	2,039			3,002		
5 ( <i>res-wet</i> )	0,851	19,86%	19,82%	2,436	37,23%	35,53%
6 ( <i>res-wet-quake</i> )	0,682			1,529		
7 ( <i>res-sat</i> )	0,824	19,78%		2,241	33,82%	
8 ( <i>res-sat-quake</i> )	0,661			1,483		

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan, kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan parameter *peak undrained shear strength* dengan variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa menunjukkan adanya pengaruh berat volume tanah pada saat kondisi basah dan dan gaya gempa. Pengaruh kenaikan berat volume tanah menurunkan FK sebesar 3,18% dan pengaruh gempa menurunkan FK sebesar 20,89%. Faktor keamanan dengan

menggunakan parameter kuat geser puncak menunjukkan angka FK lebih besar dari 1. Nilai ini menunjukkan lereng dalam keadaan stabil.

2. Berdasarkan analisis stabilitas lereng tanpa perkuatan menggunakan parameter *residual undrained shear strength* dengan variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa menunjukkan adanya pengaruh berat volume tanah pada saat kondisi basah dan dan gaya gempa. Pengaruh kenaikan berat volume tanah menurunkan FK sebesar 3,13% dan pengaruh gempa menurunkan FK sebesar 19,82%. Faktor keamanan dengan menggunakan parameter kuat geser sisa menunjukkan angka FK kurang



dari 1. Nilai ini menunjukkan lereng dalam kondisi tidak stabil atau telah terjadi longsor. Kondisi dengan FK terkecil adalah pada kondisi dengan parameter kuat geser sisa, berat volume jenuh dan adanya gaya gempa yaitu sebesar 0,661.

3. Hasil dari perencanaan perkuatan lereng digunakan 2 baris tiang bor dengan diameter 0,8 m, jarak antar tiang 1,2 dan panjang tiang 15 m. Tiang-tiang tersebut diletakkan pada jarak 10 m dan 20 m dihitung dari kaki lereng. Pada tiang bor 1, tulangan longitudinal yang digunakan sebanyak 30 buah dengan diameter 32 mm dan tulangan transversal dengan diameter 13 mm dan jarak antar tulangan 200 mm dan pada tiang bor 2, tulangan longitudinal yang digunakan sebanyak 30 buah dengan diameter 26 mm dan tulangan transversal dengan diameter 13 mm dan jarak antar tulangan 200 mm . Kuat geser maksimum tiang sebesar 597,76 kN.
4. Berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan menggunakan parameter *peak undrained shear strength* dengan variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa menunjukkan adanya pengaruh berat volume tanah pada saat kondisi basah dan dan gaya gempa. Pengaruh kenaikan berat volume tanah menurunkan FK sebesar 4,01% dan pengaruh gempa menurunkan FK sebesar 27,24%. Faktor keamanan lereng meningkat 36% dan lebih besar dar 1,5.
5. Berdasarkan analisis stabilitas lereng dengan perkuatan menggunakan parameter *residual undrained shear strength* dengan variasi berat volume tanah basah dan jenuh, dan gaya gempa menunjukkan adanya pengaruh berat volume tanah pada saat kondisi basah dan dan gaya gempa. Pengaruh kenaikan berat volume tanah menurunkan FK

sebesar 5,51% dan pengaruh gempa menurunkan FK sebesar 35,53%. Faktor keamanan lereng meningkat 60% dan lebih besar dar 1,5. Desain perkuatan lereng dengan tiang bor mampu menstabilkan lereng dari longsor.

### Saran

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu adanya penelitian lanjut untuk penelitian ini. Adapun saran-saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu, menggunakan program berbasis *Finite Element Method* seperti *PLAXIS*, menggunakan metode analisis stabilitas lereng yang lainnya pada program *SLOPE/W* seperti *Morgenstern-Price*, *Janbu*, dan lain-lain, menggunakan jenis perkuatan lainnya seperti *Soil Nailing*, *Geotextile*, dan lain-lain, dan membandingkan pengaruh ukuran diameter yang digunakan untuk perkuatan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, Z.F. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng Di Desa Sukamakmur, Kabupaten Bogor, Menggunakan Metode Fellenius Melalui Aplikasi Geostudio SLOPE/W*. Tugas Akhir. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Amalia. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng Kawasan Situs Ratu Boko Akibat Tambahan Beban Bangunan dan Pengaruh Perubahan Kadar Air*. Tugas Akhir. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Arif dan Widodo. 2008. *Analisa Balik Kelongsoran (Studi Kasus di Jember)*. Pp. 1-10. Institut Teknologi Sepuluh November. Surabaya.
- Das, B.M. 2010. *Principles of Geotechnical Engineering*. 7<sup>th</sup> ed. Cengage Learning. USA.
- Duncan, J.M. 2014. *Soil Strength and Slope Stability*. 2<sup>nd</sup> ed. Wiley. USA.
- Famungkas, dkk. 2015. *Analisis Stabilitas Lereng Memakai Perkuatan Geotekstil Dengan Bantuan Perangkat Lunak (Studi Kasus Pada*

- Sungai Parit Raya*). Penelitian. Universitas Brawijaya. Malang.
- GEO 5 Software. 2018. *GEO 5 User's Guide*. Edisi 2018. Fine Ltd.
- Goro, G.L. 2007. Studi Analisis Stabilitas Lereng pada Timbunan dengan Metode Elemen Hingga. Wahana TEKNIK SIPIL. Vol. 12 No. 1. Politeknik Negeri Semarang. Semarang.
- Hardiyatmo, H.C. 2004. *Mekanika Tanah II*. Edisi ke-3. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C. 2008. *Teknik Pondasi II*. Edisi ke-4. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Kaltim.procal.com. 2013. Menjaga Aliran Migas dari Senipah hingga Bontang (<http://kaltim.prokal.co/read/news/29288-menjaga-aliran-migas-dari-senipah-hingga-bontang>) . Diakses 1 Juni 2018.
- Nurmanza dkk. 2014. *Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan tiang (pile) dengan bantuan perangkat lunak (studi kasus pada sungai parit raya)*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol 1, No 3. Universitas Brawijaya. Malang.
- Pentawan, Y. 2017. *Simulasi Penggunaan Program GEOSTUDIO SLOPE/W 2007 dalam Menganalisis Stabilitas Lereng dengan Jenis Tanah Lempung Berpasir pada Kondisi Tidak Jenuh, Kondisi Jenuh Sebagian, dan Kondisi Jenuh*. Tugas Akhir. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Permana, G.W. 2016. Analisis Stabilitas Lereng dan Penanganan Longsor Menggunakan Metode Elemen Hingga PLAXIS V.8.2. Tugas Akhir. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Pratama dkk. 2014. *Analisis Stabilitas Lereng dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsor Jalan Alternatif Tawangmangu STA 3+150 – STA 3+200, Karanganyar)*. Jurnal Karya Teknik Sipil. Vol 3, No 3, pp 573-585. Universitas Diponegoro. Semarang.
- SLOPE/W Software. 2012. *Stability Modeling with SLOPE/W*. Edisi 2012. GEO-SLOPE International Ltd. Canada.
- Zydroń dan Zawisza. 2011. *Shear strength investigation of soils in landslide areas*. GEOLOGIJA. Vol. 53. No. 3(75). P. 147–155. Kraków. Poland.