

**ANALISIS POTENSI LONGSOR  
PADA LERENG GALIAN PENAMBANGAN TIMAH  
(Studi Kasus Area Penambangan Timah Di Jelitik, Kabupaten Bangka)**

**Riki Dwi Prastyo**

Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

Email: riki\_dwiprastyo@yahoo.com

**Roby Hambali**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung

Email: rhobee04@yahoo.com

**ABTRAK**

*Akibat kegiatan penambangan Timah terbentuklah sebuah lereng galian. Lereng dengan struktur tanah dan kemiringan tertentu menimbulkan potensi longsor yang membahayakan keselamatan pekerja tambang. Oleh karenanya dilakukan analisis potensi kelongsoran pada lereng galian penambangan Timah tersebut dengan melihat faktor keamanan (SF) lereng, serta menganalisis sejauh mana pergerakan tanah (deformasi) akibat penggalian. Analisis dilakukan dengan memodelkan lereng galian menggunakan program Plaxis 2D-Versi 8, berdasarkan data primer dan studi parametrik. Data yang diperlukan yaitu tinggi lereng (H), stratigrafi, sudut kemiringan lereng ( $\alpha$ ), berat volume tanah ( $\gamma$ ), koefisien permeabilitas (k), modulus elastisitas tanah (E), angka poisson ( $\nu$ ), kohesi tanah (c), sudut geser tanah ( $\phi$ ) dan asumsi muka air tanah. Selain itu dilakukan juga simulasi perbaikan lereng dengan mengubah geometri asli lereng berdasarkan dua alternatif solusi perbaikan yaitu dengan memperkecil sudut kemiringan lereng dan membuat berm/trap pada lereng. Hasil analisis kelongsoran pada lereng galian penambangan Timah mendapatkan faktor keamanan (SF) sebesar 1,18 sehingga lereng teridentifikasi pada kondisi keruntuhan pernah terjadi artinya lereng berpotensi longsor. Adapun deformasi yang terjadi sebesar  $31,01 \cdot 10^{-3}$  meter, artinya akibat penggalian memungkinkan massa tanah bergarak sejauh  $31,01 \cdot 10^{-3}$  meter sebelum terjadi keruntuhan sempurna. Dari dua alternatif analisis perbaikan yang direkondisikan, solusi terbaik didapatkan dengan membuat berm/trap sebanyak 6 berm dengan sudut kemiringan pada setiap berm sebesar  $50^\circ$  dan lebar antar berm sebesar 3 meter. SF yang didapatkan sebesar 2,56 mengalami peningkatan sebesar 116,96 %, dengan deformasi sebesar  $17,71 \cdot 10^{-3}$  meter, mengalami pengecilan sebesar 42,89 %. Karena penggalian tetap mengalami pergerakan massa tanah (deformasi), tetapi berdasarkan analisis faktor keamanan, lereng pada kondisi aman (tidak berpotensi longsor).*

**Kata kunci :** *Lereng galian, potensi kelongsoran, solusi perbaikan lereng.*

## PENDAHULUAN

Pulau Bangka merupakan pulau penghasil Timah terbesar di Indonesia yang selanjutnya disusul Pulau Belitung, Karimun, Kundur, dan Singkep. Khususnya pada penambangan darat, akibat proses penambangan terbentuklah sebuah lereng galian. Hardiyatmo (2007) menjelaskan, pada penggalian tanah, selama periode penggalian yang dilakukan dengan cepat, tegangan geser yang timbul bertambah sedangkan kuat geser relatif tetap. Hal ini mengakibatkan faktor aman berkurang. Pada akhir penggalian, walaupun tegangan geser yang terjadi tetap, pengurangan kuat geser mengakibatkan berkurangnya faktor aman. Artinya baik dalam proses penggalian dan setelah selesai penggalian faktor aman yang terjadi relatif berkurang. Berkurangnya faktor aman serta perbedaan elevasi tanah, mendorong massa tanah bergerak atau longsor yang dapat membahayakan keselamatan pekerja tambang. Oleh karenanya dilakukan analisis potensi kelongsoran pada lereng galian penambangan Timah tersebut dengan melihat faktor keamanan ( $SF$ ) lereng, serta menganalisis sejauh mana pergerakan tanah (deformasi) akibat penggalian dengan program *Plaxis 2D*-Versi 8.



Gambar 1. Penambangan timah

## Rumusan Masalah

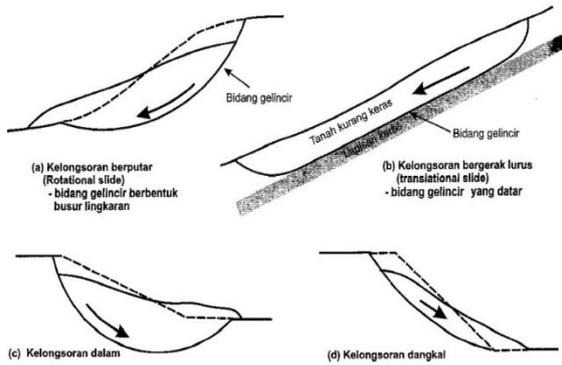
1. Berapakah faktor aman ( $SF$ ) pada lereng galian penambangan Timah dan apakah lereng galian penambangan Timah berpotensi longsor ?
2. Berapa besar deformasi yang terjadi pada lereng galian penambangan Timah?
3. Apa alternatif solusi terbaik yang diberikan agar menjadikan kondisi lereng galian penambangan Timah menjadi aman ?

## Tujuan Penelitian

1. Menganalisis faktor aman ( $SF$ ) dan menganalisis potensi longsor pada lereng galian penambangan Timah.
2. Menganalisis besaran Deformasi yang terjadi pada lereng galian penambangan Timah.
3. Menentukan solusi terbaik terhadap keamanan lereng galian penambangan Timah.

## TINJAUAN PUSTAKA

Masalah yang terjadi pada lereng adalah hilangnya kestabilan sehingga terjadi gerakan-gerakan tanah, retak-retak, bahkan longsor karena adanya perbedaan elevasi tanah. Jika permukaan tanah tidak datar, komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan lereng akan menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah.



Sumber : Wesley (2012)

Gambar 2. Beberapa macam tanah longsor

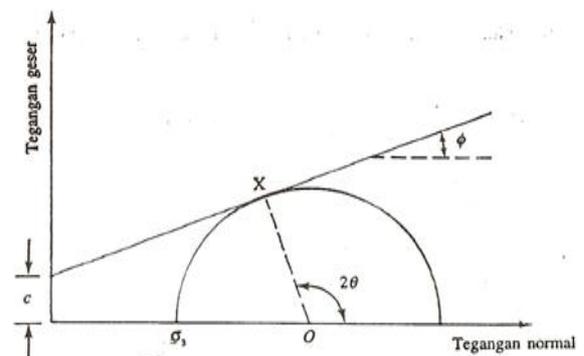
Apabila komponen gravitasi terlalu besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang mampu dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui disebabkan oleh pergerakan tanah yang relatif cepat, maka akan terjadi gelincir (*sliding*). Rembesan dapat juga merupakan pertimbangan yang penting dalam pergerakan tanah apabila terdapat air. Gaya-gaya yang disebabkan oleh rembesan dan gempa menghasilkan tegangan geser pada seluruh masa tanah. Sedangkan tanah memiliki tahanan geser yang bergantung pada kuat geser tanah.

Keamanan/stabilitas lereng dapat diidentifikasi berdasarkan besaran faktor keamanan (*SF*) pada lereng tersebut. Pada studi kasus ini kriteria keamanan pada lereng galian mengacu pada sumber Bowles (1991), dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi lereng berdasarkan nilai *SF*

<i>SF</i>	Kondisi Lereng
$SF > 1,25$	Keruntuhan jarang terjadi
$1,07 < SF \leq 1,25$	Keruntuhan pernah terjadi
$SF < 1,07$	Keruntuhan biasa terjadi

Pada penelitian ini analisis keamanan/stabilitas dan deformasi lereng galian digunakan program *Plaxis 2D*-versi 8. Analisis keamanan/stabilitas lereng dan deformasi dalam *Plaxis 2D*-versi 8 mengacu pada model Mohr-Coulomb. Model Mohr-Coulomb adalah model elastis-plastis disarankan untuk digunakan dalam analisis awal dari masalah yang dihadapi karena relatif sederhana, cepat dan saat tidak diperoleh data tanah yang memadai. Titik-titik kritis permodelan Mohr-Coulomb memiliki nilai yang berdekatan dengan titik-titik kritis tanah sebenarnya di sepanjang bidang kelongsoran. Oleh karena itu pemodelan Mohr-Coulomb sangat cocok untuk menganalisa stabilitas lereng. Dapat dilihat pada Gambar 3 pemodelan Mohr-Coulomb.



Sumber : Das, 1998

Gambar 3. Lingkaran mohr dan garis keruntuhan

Gambar 3 menunjukkan gambaran separuh lingkaran mohr yang mewakili kondisi tegangan pada saat keruntuhan pada suatu massa tanah. Garis keruntuhan yang dinyatakan oleh persamaan  $\tau_f = c + \sigma \tan \phi$  menyinggung lingkaran Mohr pada titik X.

dimana,

$\tau_f$  : kekuatan geser tanah

$c$  : kohesi tanah

$\sigma$  : tegangan normal

$\phi$  : sudut geser tanah

Pada *Plaxis 2D*-versi 8 model Mohr-Coulomb dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan pendekatan reduksi  $\phi$  dan  $c$ , selain itu juga deformasi yang terjadi pada juga dapat dilihat. Parameter kekuatan  $\tan\phi$  dan  $c$  dari tanah selanjutnya akan direduksi hingga keruntuhan tercapai. Sehingga faktor aman ( $SF$ ) menjadi:

$$\Sigma Msf = \frac{\tan \phi_{input}}{\tan \phi_{tereduksi}} = \frac{c_{input}}{c_{tereduksi}}$$

$$SF = \frac{\text{kekuatan geser yang tersedia}}{\text{kekuatan geser saat runtuh}} = \text{nilai } \Sigma Msf$$

dimana,

$\phi_{input}$  : sudut geser dalam ( $^{\circ}$ )

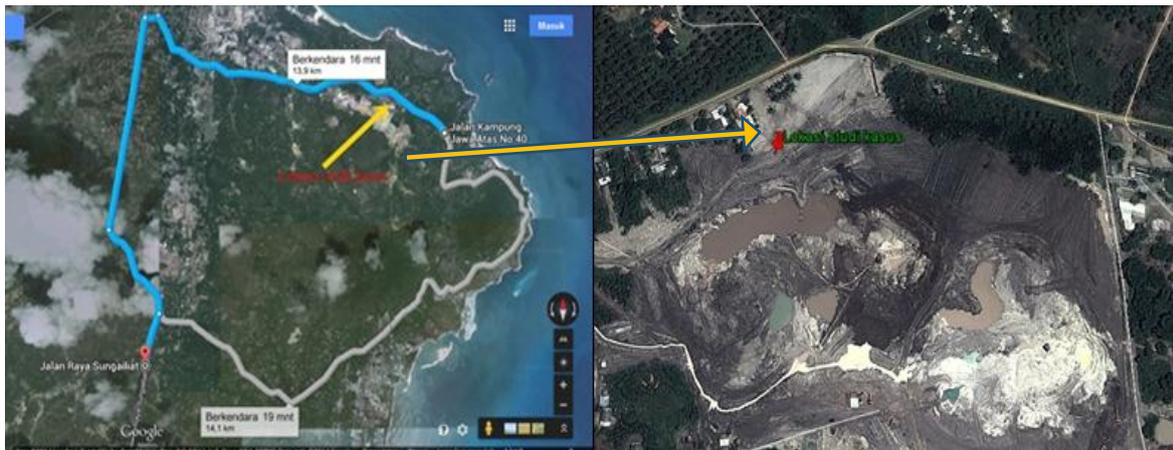
$\phi_{tereduksi}$  : sudut geser dalam tereduksi ( $^{\circ}$ )

$c_{input}$  : kohesi tanah ( $\text{kN/m}^2$ )

$c_{tereduksi}$  : kohesi tanah tereduksi ( $\text{kN/m}^2$ )

### METODE PENELITIAN

Lokasi studi kasus dalam penelitian ini yaitu di Jelitik Kabupaten BangkaKepulauan Bangka Belitung. Adapun peta lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.

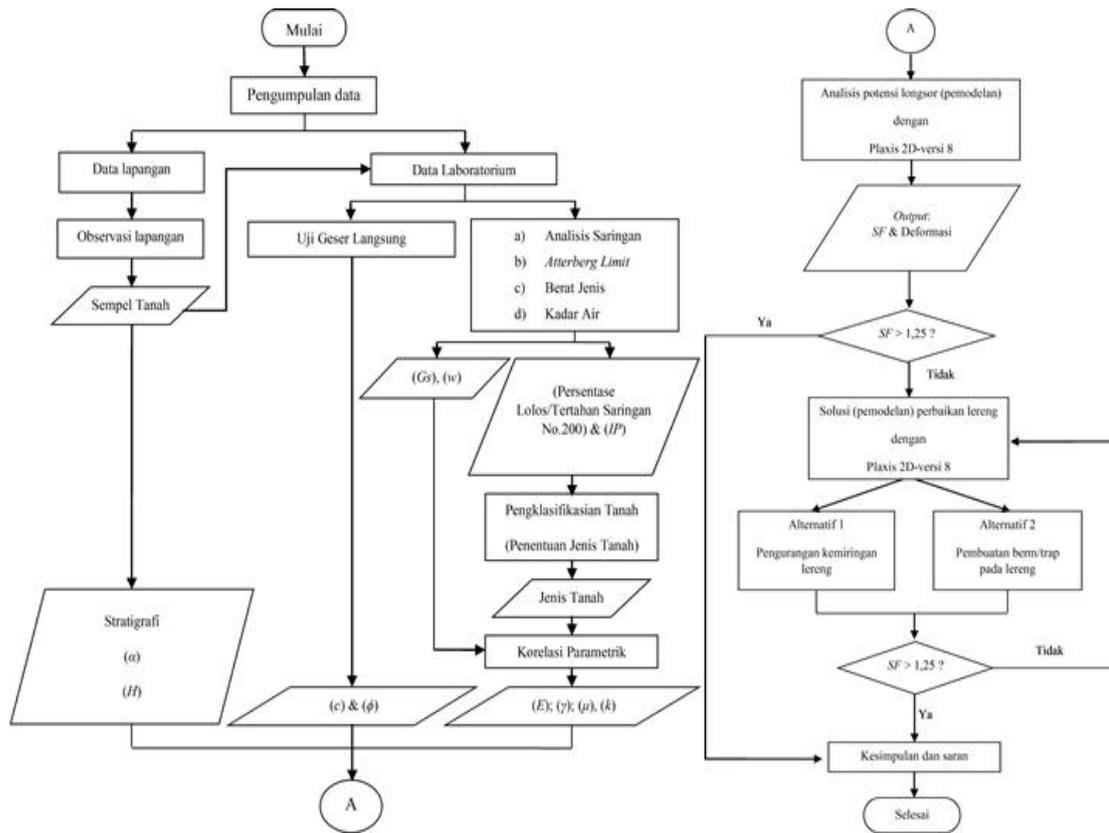


Gambar 4. Peta lokasi studi kasus

### Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini meliputi pengumpulan data, data uji tanah asli di laboratorium dan data korelasi parametrik tanah, analisis potensi longsor

pada lereng galian, analisis perbaikan lereng galian, dan perumusan kesimpulan. Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 5.



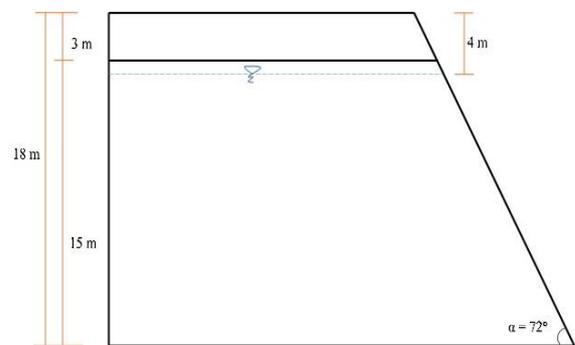
Gambar 5. Diagram alir penelitian

**Data Lapangan**

Data lapangan merupakan data geometrik asli lereng galian pada area studi kasus (Gambar 6). Ketinggian lereng (H) dan sudut kemiringan lereng diukur dengan GPS, stratigrafi dilakukan pengamatan langsung dan muka air tanah berdasarkan asumsi geometri asli lereng galian disajikan sesuai gambar 7.



Gambar 6. Lereng terbentuk akibat penambangan timah



Gambar 7. Gometri lereng galian penambangan timah asli dilapangan

**Data Laboratorium dan Korelasi Parametrik**

Data dari pengujian laboratorium yang perlu didapatkan sesuai Tabel 2 dan data korelasi parametrik sesuai Tabel 3. Data-data ini merupakan parameter tanah yang

dibutuhkan dalam analisis potensi longsor pada lereng galian.

Tabel 2. Data laboratorium yang dicari

Jenis Tanah
Berat Jenis Tanah ( $G_s$ )
Kadar Air Tanah ( $w$ )
Sudut Geser Tanah ( $\phi$ )
Kohesi Tanah ( $c$ )

Jenis tanah asli di lapangan di dapatkan berdasarkan uji analisis saringan dan pengujian Indeks Plastisitas. Sudut geser tanah dan kohesi tanah dilakukan pengujian direct shear.

Tabel 3. Data korelasi parametrik yang dicari

Modulus elastisitas ( $E$ )
Angka poisson ( $\mu$ )
Koefisien permeabilitas ( $k_x$ & $k_y$ )
Berat volume tanah asli ( $\gamma_{unsat}$ )
Berat volume tanah jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )

Berdasarkan jenis tanah dapat dilakukan korelasi parametrik berupa  $E$ ,  $\mu$ ,  $k_x$  &  $k_y$ . Adapun  $\gamma_{unsat}$  dilakukan pendekatan dengan rumus berikut.

Tabel 4. Alternatif sudut kemiringan lereng pada analisis solusi perbaikan lereng

Alternatif	Tinggi Lereng (H)	Sudut Kemiringan Lereng
	(m)	( $^{\circ}$ )
1A	18	69
1B		65
1C		60
1D		55
1E		50

$$\gamma_{unsat} = \frac{(1+w)G_s \gamma_w}{1+e}$$

Untuk  $\gamma_{sat}$  dilakukan pendekatan dengan rumus berikut.

$$\gamma_{sat} = \frac{(G_s + e)\gamma_w}{1+e}$$

Untuk  $e$  (angka pori) yang mana nilainya didapatkan dengan korelasi parametrik berdasarkan jenis dan  $\gamma_w$  adalah berat volume air.

### Analisis Potensi Longsor

Analisis potensi longsor dilakukan pada lereng galian asli di lapangan (Gambar 7), jika hasil analisis didapat lereng galian berpotensi longsor (tidak aman) selanjutnya dilakukan analisis solusi perbaikan lereng galian yang dimodelkan dengan *Plaxis 2D*-versi 8.

### Solusi Perbaikan Lereng Galian

Analisis solusi perbaikan lereng dilakukan dengan simulasi perbaikan lereng galian dengan dua alternatif solusi yaitu dengan memperkecil sudut kemiringan lereng (Tabel 4) dan dengan membuat berm/trap pada lereng galian (Tabel 5).

Tabel 5. Alternatif bentuk berm/trap pada analisis solusi perbaikan lereng galian

Alternatif	Tinggi Lereng (H)	Jumlah Berm	Sudut Tiap Berm	Lebar Antar Berm
	(m)		(°)	(m)
2A	18	4	72	1
2B				2
2C				3
2D	18	4	61	1
2E				2
2F				3
2G	18	4	52	1
2H				2
2I				3
2J	18	6	72	1
2K				2
2L				3
2M	18	6	63	1
2N				2
2O				3
2P	18	6	50	1
2Q				2
2R				3

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Tanah di Laboratorium dan Korelasi Parametrik

Pada pengujian tanah asli di laboratorium sampel tanah yang digunakan diambil dengan alat *handbor* pada area studi kasus. Hasil dari pengujian tanah asli dilaboratorium berupa jenis tanah, kadar air tanah ( $w$ ) dan berat jenis tanah ( $G_s$ ),

digunakan untuk korelasi parametrik tanah dan sudut geser tanah ( $\phi$ ) serta kohesi tanah ( $c$ ). Adapun hasil pengujian tanah asli di laboratorium dan korelasi parametrik disajikan pada Tabel 6 yang selanjutnya digunakan untuk analisis potensi longsor pada lereng galian.

Tabel 6. Hasil pengujian tanah asli di laboratorium dan hasil korelasi parametrik

Tanah Kedalaman 1 m (pasir berlempung)	Satuan	Nilai
Modulus elastisitas ( $E$ )	kN/m <sup>2</sup>	20000
Angka poisson ( $\mu$ )		0,25
Koefisien permeabilitas ( $k_x$ & $k_y$ )	m/hr	0,1
Berat volume tanah normal ( $\gamma$ )	kN/m <sup>3</sup>	18
Berat volume tanah jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	18,9
Kohesi Tanah ( $c$ )	kN/m <sup>2</sup>	14
Sudut Geser ( $\phi$ )	°	41

Tanah Kedalaman 5 m (pasir berlanau)	Satuan	Nilai
Modulus elastisitas ( $E$ )	kN/m <sup>2</sup>	20000
Angka poisson ( $\mu$ )		0,25
Koefisien permeabilitas ( $k_x$ & $k_y$ )	m/hr	0,1
Berat volume tanah normal ( $\gamma$ )	kN/m <sup>3</sup>	17,67
Berat volume tanah jenuh air ( $\gamma_{sat}$ )	kN/m <sup>3</sup>	18,33
Kohesi Tanah ( $c$ )	kN/m <sup>2</sup>	25
Sudut Geser ( $\phi$ )	°	36

Sumber : Hasil Perhitungan

### Analisis Potensi Longsor Lereng Alami

Analisis potensi longsor merupakan tahapan identifikasi keamanan lereng. Hasil analisis berupa faktor keamanan ( $SF$ ) dan deformasi.  $SF$  adalah acuan terhadap keamanan lereng dan deformasi merupakan kondisi dimana berubahnya bentuk lereng akibat terjadinya pergerakan tanah (*displacements*) pada lereng galian. Model geometri kondisi awal lereng disajikan pada Gambar 8. Hasil dari analisis disajikan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil analisis potensi longsor

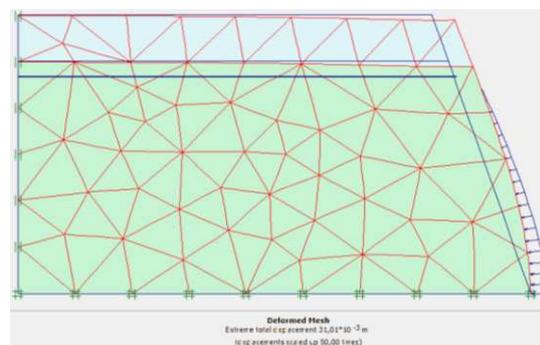
Tinggi Lereng (H) (m)	Sudut Kemiringan Lereng (°)	SF	Deformasi (*10 <sup>-3</sup> m)
18	72	1,18	31,01

Berdasarkan Tabel 5,  $SF$  didapatkan sebesar 1,18. Artinya  $1,07 < SF = 1,18 < 1,25$ , lereng galian pada kondisi keruntuhan pernah terjadi sehingga lereng berpotensi longsor (tidak aman) dan perlu dilakukan perbaikan. Deformasi yang terjadi sebesar  $31,01 * 10^{-3}$  meter, dimana didalam *Plaxis 2D*-versi 8 deformasi disebut

*displacements* (Gambar 9). Artinya, oleh karena penggalian memungkinkan massa tanah bergerak sejauh  $31,01 * 10^{-3}$  meter sebelum terjadi keruntuhan sempurna.



Gambar 8. Model Goemetri Asli Lereng



Gambar 9. Deformasi pada Geometri Asli Lereng

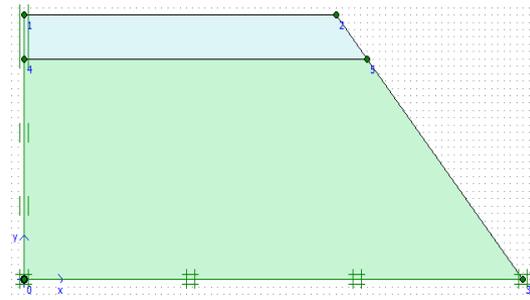
**Analisis Perbaikan Lereng**

Analisis perbaikan lereng pada alternatif pertama dilakukan yaitu dengan memparkecil sudut kemiringan lereng. Hasil analisis berdasarkan simulasi perbaikan (Tabel 2) secara keseluruhan lereng aman, hanya pada sudut kemiringan 69° lereng galian masih berpotensi longsor. Alternatif terbaik didapat dengan sudut kemiringan 50°. Model Geometri perbaikan lereng pada alternatif terbaik disajikan pada Gambar 10. Hasil analisis disajikan pada Tabel 8 berikut.

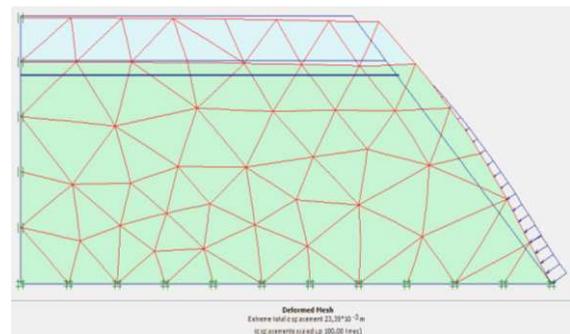
Tabel 8. Hasil perbaikan lereng dengan memperkecil sudut kemiringan lereng

Tinggi Lereng (H) (m)	Sudut Kemiringan Lereng (°)	SF	Deformasi (*10 <sup>-3</sup> m)
18	50	1,73	23,35

Berdasarkan Tabel 8 didapatkan nilai *SF* sebesar 1,73 mengalami peningkatan sebesar 0,55 atau sebesar 46,61 % dari *SF* lereng asli lapangan. Artinya  $SF=1,73 > 1,25$ , sehingga lereng pada kondisi keruntuhan jarang terjadi berarti lereng galian relatif tidak mengalami kelongsoran. Kemungkinan deformasi oleh karena penggalian sebesar  $23,35 * 10^{-3}$  meter mengalami pengecilan sebesar  $7,66 * 10^{-3}$  meter atau mengecil sebesar 24,70 % dari deformasi lereng asli lapangan (Gambar 11), deformasi masih terlihat pada alternatif perbaikan ini namun berdasarkan hasil analisis keamanan lereng, lereng tetap dalam kondisi aman.



Gambar 10. Model geometri lereng pada alternatif pertama



Gambar 11. Deformasi lereng pada alternatif pertama

Selanjutnya dilakukan analisis perbaikan lereng alternatif kedua yaitu dengan membuat berm/trap pada lereng galian. Hasil analisis pada alternatif kedua ini juga secara keseluruhan dihasilkan lereng pada kondisi aman. Hasil terbaik dari simulasi perbaikan lereng pada alternatif kedua (Tabel 3) yaitu dengan pembuatan berm/trap sebanyak 6 berm/trap dan sudut kemiringan tiap berm/trap sebesar 50° dengan lebar antar berm/trap sebesar 3 meter. Model geometri dari hasil terbaik pada analisis perbaikan alternatif kedua disajikan pada Gambar 12. Hasil analisis disajikan pada Tabel 9 berikut.

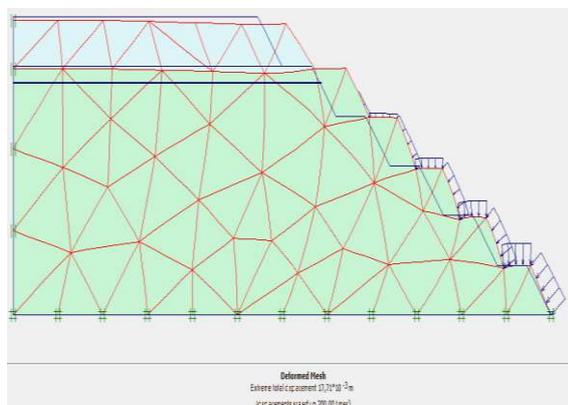
Tabel 9. Hasil perbaikan lereng dengan membuat berm pada lereng

(H) (m)	Jlh Berm	Sudut Tiap Berm (°)	Lebar Antar Berm (m)	FS	Deformasi (*10 <sup>-3</sup> m)
18	6	50	3	2,56	17,71

Bersasarkan Tabel 9 didapat  $SF$  sebesar 2,56 mengalami kenaikan 1,38 atau sebesar 116,96% dari  $SF$  lereng asli lapangan, artinya  $SF=2,56 > 1,25$ , lereng pada kondisi keruntuhan jarang terjadi sehingga lereng galian relatif tidak mengalami kelongsoran dan lereng galian aman. Pada alternatif kedua kemungkinan deformasi yang terjadi oleh karena penggalian sebesar  $17,71 \cdot 10^{-3}$  meter mengalami pengecilan sebesar  $13,33 \cdot 10^{-3}$  meter atau mengecil sebesar 42,89 % dari kondisi lereng asli lapangan (Gambar 13). Walaupun deformasi terlihat akan tetapi berdasarkan hasil analisis keamanan lereng, lereng tetap aman dari kelongsoran.



Gambar 12. Model Geometri Lereng pada Alternatif Kedua



Gambar 13. Deformasi Lereng Galian pada Alternatif Kedua

Dari dua alternatif solusi perbaikan lereng yang dianalisis, solusi terbaik didapat pada alternatif kedua yaitu dengan pembuatan berm/trap pada lereng galian, sebanyak 6 berm/trap dan sudut kemiringan pada setiap berm/trap sebesar  $50^\circ$  dengan lebar antar berm/trap sebesar 3 meter.

## KESIMPULAN

1. Hasil analisis kelongsoran didapatkan faktor aman ( $SF$ ) lereng galian penambangan Timah pada studi kasus ini sebesar 1,18. Berdasarkan  $SF$  yang didapat artinya  $1,07 < SF=1,18 < 1,25$  sehingga lereng berada pada kondisi pernah terjadi keruntuhan, oleh karenanya lereng berpotensi longsor.
2. Deformasi yang terjadi pada lereng galian penambangan Timah pada studi kasus ini yaitu sebesar  $31,01 \cdot 10^{-3}$  meter.
3. Solusi terbaik terhadap perbaikan lereng galian penambangan seperti yang dikaji dalam penelitian ini yaitu berupa pembuatan berm pada lereng galian sebanyak 6 berm dan sudut kemiringan pada setiap berm sebesar  $50^\circ$  dengan lebar antar berm sebesar 3 m. Solusi tersebut memberikan nilai  $SF$  sebesar 2,56 mengalami peningkatan sebesar 1,38 atau sebesar 116,96% dari  $SF$  lereng asli lapangan dan deformasi sebesar  $17,71 \cdot 10^{-3}$  meter mengalami pengecilan sebesar  $13,33 \cdot 10^{-3}$  atau mengecil sebesar 42,89 % dari kondisi lereng asli lapangan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bowles, Joseph E, 1991, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R. F, 1974, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah 1*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hidayati, 2012, *Analisa Stabilitas Lereng Pada Campuran Padir dan Tanah Lempung Dengan Menggunakan Pemodelan di Laboratorium*, Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 8 No. 1
- Hasnawir, 2012, *Intensitas Curah Hujan Memicu Tanah Longsor Dangkal di Sulawesi Selatan*, Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea, Volume 1 No. 1, 62-73.
- PERHAPI, 1992-2004, *Kumpulan Makalah Geoteknik*, PERHAPI, Jakarta.
- Permana, Eka, 2012, *Pengaruh Intesitas Curah Hujan dan Lama Waktu Hujan Terhadap Kelongsoran Tanah Ditinjau dari Sisi Geoteknik*, Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil, Depok.
- SNI 1964, 2008, Badan Standar Nasional, *Cara Uji Berat Jenis Tanah*, Jakarta.
- SNI 1966, 2008, Badan Standar Nasional, *Cara Uji Penentuan Batas Plastis Dan Indeks Plastisitas Tanah*, Jakarta.
- SNI 1967, 2008, Badan Standar Nasional, *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, Jakarta.
- SNI 2813, 2008, Badan Standar Nasional, *Cara Uji Kuat Geser Langsung Tanah Terkonsolidasi dan Terdrainase*, Jakarta.
- SNI 1967, 2008, Badan Standar Nasional, *Cara Uji Analisis Ukuran Butiran*, Jakarta.
- Wesley, Laurence D, 2012, *Mekanika Tanah Untuk Tanah Endapan dan Residu*, Andi, Yogyakarta.