

**SIMULASI KETEBALAN LUMPUR TERHADAP
KESTABILAN LERENG AKTUAL DAN RENCANA DESAIN
AKHIR PADA WASTE DUMP TAMBANG BATU HIJAU**

Rr Harminuke Eko Handayani¹ Arizky Winahyu² dan Bochori³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya,

E-mail : harminuke@ft.unsri.ac.id; winahyuarizky@gmail.com

ABSTRAK

Material-material yang terdapat pada waste dump mayoritas merupakan material non-ore (waste rock) dan ditempatkan juga material lumpur di beberapa area. Lumpur merupakan tanah ekspansif yang memiliki kembang susut air yang ekstrim untuk itu perlu adanya analisis kestabilan lereng berupa nilai Faktor Keamanan (FK) yang diperoleh dari analisis kesetimbangan batas (limit equilibrium) dengan metode Morgenstern-Price dan Probabilitas Kelongsoran (PK) yang dalam perhitungannya menggunakan uji baik suai Kolmogorov-Smirnov. Mengingat Pit berada pada zona subduksi antara Eurasian dan Indo-Australia Plate maka perhitungan dilakukan pada worst case dengan melakukan analisis pendekatan pseudostatik. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai FK dan PK dari lereng selanjutnya membandingkan nilai kestabilan lereng dengan hasil program geotech monitoring terhadap adanya penempatan lumpur secara aktual, menghitung nilai FK dan PK pada rencana desain akhir waste dump dan mengkorelasikan ketebalan lumpur terhadap nilai kestabilan yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lereng stabil pada kondisi aktual. Tidak terjadi perbedaan perhitungan antara analisis kestabilan lereng aktual dengan peralatan geotech monitoring. Lereng diprediksikan longsor pada simulasi lumpur 3,87 meter pada section A-A' dengan FK=1,088 dan PK=3,5% dan section E-E' dengan FK=1,068 dan PK=5,6%. Lereng diprediksikan mengalami longsor pada simulasi tebal lumpur 7,74 meter yaitu pada section A-A' dengan nilai FK=0,0978 PK=63,6%, section B-B' dengan nilai FK=1,06 PK=16,2%, section C-C' dengan FK=1,043 PK=24,8%, dan section E-E' dengan nilai FK=0,99 PK=57,3%. Lereng diprediksikan mengalami longsor pada simulasi tebal lumpur 11,62 meter yaitu yang terdapat pada section A-A' dengan nilai FK=0,941 PK=87,3%, section B-B' dengan nilai FK=0,915 PK=99,8%, section C-C' dengan FK=0,864 PK=100%, dan section E-E' dengan nilai FK=0,915 PK=99,8%.

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Penempatan Lumpur, Waste Dump

1. PENDAHULUAN

Aktivitas penambangan yang dilakukan di pit telah mencapai kedalaman -240 Mdpl dari elevasi awal 548 Mdpl. Material hasil penambangan yang berupa *ore* akan dibawa menuju *stockpile* atau *crusher* untuk selanjutnya dilakukan pengolahan dan material *non-ore* akan dilakukan *dumping* di area timbunan batuan sisa (*waste dump*).

Material yang terdapat di *waste dump* mayoritas terdiri dari material *non-ore* (*waste rock*) dan lumpur (*mud*) yang ditempatkan pada beberapa bagian. Material lumpur ini berasal dari *ex-pit* dan *in-pit* yang kemudian ditampung di *Pond* atau langsung dilakukan *dumping* pada area *waste dump*. Material lumpur paling banyak dilakukan *dumping* yaitu sebesar 650.000 m³ dengan 10 *mud cell* penampung [1]. Lumpur tergolong sebagai tanah ekspansif yang mana jenis tanah ini memiliki sifat kembang susut yang ekstrim terhadap air. Hal ini dapat berpengaruh terhadap kestabilan lereng *waste dump*, disebabkan oleh sifat lumpur yang dapat berubah-ubah seketika mengikuti musim.

Berdasarkan rekomendasi geoteknik penempatan lumpur dilakukan sejauh 112,5 meter dari *crest* untuk menjaga kestabilan *waste dump* akan tetapi dari segi geometri ketebalan lumpur belum dilakukan analisis untuk mengetahui sejauh mana ketebalan maksimum yang dapat digunakan agar *waste dump* tetap stabil. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis berupa simulasi ketebalan lumpur pada area timbunan, baik secara aktual hingga desain akhir dari *Waste Dump* untuk mengetahui Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan selain itu prakiraan Probabilitas Kelongsoran (PK) juga akan dilakukan guna mengetahui seberapa besar kemungkinan lereng *waste dump* akan longsor. Mengingat lokasi Pit berada pada zona subduksi antara *Eurasion Plate* dan *Indo-Australia Plate* yang memungkinkan terjadinya gempa, maka dalam perhitungan kestabilan perlu dilakukan analisis pendekatan *pseudostatik* untuk *worst case* dengan memasukkan koefisien kegempaan horizontal sebesar 0,15 g.

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah Bagaimana faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng keseluruhan dengan adanya penempatan lumpur dari *Waste Dump* secara aktual pada kondisi *seismic* dan *non seismic*? Bagaimana interpretasi peralatan *geotech monitoring* terhadap pergerakan (*displacement*) pada lereng keseluruhan aktual *Waste Dump*? Bagaimana faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran lereng keseluruhan desain akhir *Waste Dump* berdasarkan simulasi penempatan ketebalan lumpur pada *mud cell*? Bagaimanakah korelasi yang terjadi antara tebal lumpur dengan nilai faktor keamanan lereng keseluruhan?

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui kestabilan lereng berdasarkan nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) yang dihasilkan dari penempatan lumpur di area *Waste Dump* pada kondisi aktual. Mengetahui besarnya pergerakan (*displacement*) dari lereng keseluruhan berdasarkan hasil interpretasi peralatan *geotech monitoring* di area Ujat *Waste Dump*. Melakukan simulasi ketebalan lumpur hingga desain akhir penambangan pada kondisi *non seismic* dan *seismic* untuk memperoleh nilai kestabilan lereng keseluruhan pada Ujat *Waste Dump* berdasarkan pada nilai Faktor Keamanan (FK)

dan Probabilitas Kelongsoran (PK). Menganalisis hasil korelasi antara tebal lumpur dengan nilai faktor keamanan lereng keseluruhan.

Lereng (*slope*) merupakan suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horizontal. Lereng dapat terjadi secara alamiah dan buatan. Permukaan tanah yang tidak datar akan menyebabkan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan lereng bergerak ke arah bawah. Hal ini yang dikatakan sebagai longSORan.

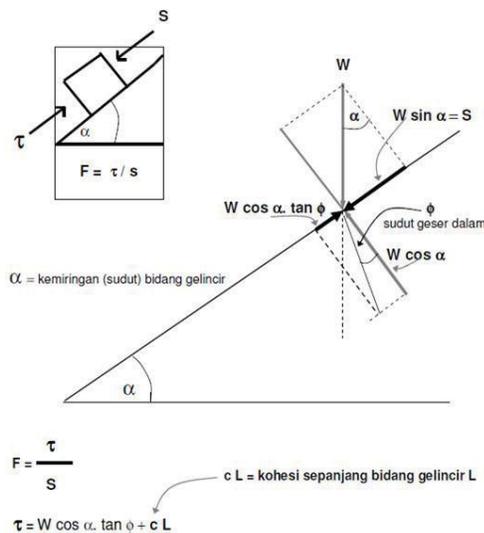
Gerakan massa tanah (*mass movement*) adalah gerakan massa tanah yang terjadi pada bidang longSOR kritisnya. Gerakan massa pembentuk lereng dibagi menjadi lima jenis yaitu jatuhnya (*falls*), robohan (*topples*), longSORan (*slides*), sebaran (*spreads*) dan aliran (*flows*) [2].

Tanah ekspansif mempunyai kandungan dan struktur mineral yang tidak jauh berbeda dengan kandungan tanah lempung pada umumnya. Jenis lempung tidak cukup ditentukan dengan hanya melihat dari ukuran butirannya saja tetapi juga dari mineral pembentuknya juga. Mineral pada lempung yang berupa mineral Illite memiliki pengaruh besar terhadap kembang susut tanah [3]. Sehingga tanah-tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Mineral tanah liat illite dengan batuan induk berupa lumpur (*mudstone*) yang ditemukan di daerah tropis merupakan mineral yang ternyata mempunyai ciri khas sebagian besar berada pada daerah timur dan barat dari busur kepulauan Indonesia. Mineral ini adalah kelompok mineral yang mengandung persentase air yang besar di antara lapisan silikat yang dimilikinya [4].

Kondisi dimana dalam perhitungan faktor keamanan juga perlu dilakukan perhitungan terhadap pengaruh gravitasi akibat gempa, hal yang sering dilakukan dalam analisis stabilitas lereng adalah dengan menggunakan konstanta numerik yang biasanya disebut koefisien gempa (kg). Koefisien ini diberikan dalam persen dari gravitasi. Contoh dalam koefisien gravitasi 10% ($0,1g$) sering yang disebut *pseudostatic analysis*. Besarnya koefisien gravitasi untuk tiap wilayah di Indonesia memiliki nilai yang berbeda-beda. Analisis stabilitas lereng saat gempa yang paling sederhana adalah dengan analisis dengan pendekatan menggunakan *Pseudostatik*, dimana efek dari gempa digantikan dengan akselerasi horizontal atau vertikal konstan. Bentuk paling umum dari analisis *Pseudostatik* adalah dengan mengganti gaya percepatan pada gempa horizontal dan vertikal berupa gaya statis F_k dan F_v [5].

Gaya atau momen yang mempertahankan massa tanah untuk tetap stabil diperoleh dari gaya perlawanan geser tanah itu sendiri, dengan membandingkan kedua gaya tersebut maka akan diperoleh faktor keamanan untuk kestabilan lereng (FK). Metode ini dilakukan dengan membandingkan gaya yang mempertahankan massa tanah agar tetap stabil dengan gaya yang menggerakkan massa tanah pada bidang longSOR. Gaya atau momen yang mempertahankan massa tanah untuk tetap stabil diperoleh dari gaya perlawanan geser tanah itu sendiri, dengan membandingkan kedua gaya tersebut maka akan diperoleh faktor keamanan untuk kestabilan lereng (FK).

Gaya yang mempertahankan dan gaya yang menggerakkan masa tanah pada lereng terdiri dari beberapa gaya yang bekerja (Gambar 1). Analisis kestabilan lereng berdasarkan metode kesimbangan batas (*limit equilibrium*) dilakukan dengan cara membagi massa tanah yang menggelincir menjadi beberapa irisan yang dianggap sebagai suatu blok geser. Salah satu metode perhitungan dalam metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium*) yang dilakukan pada kondisi kesetimbangan gaya dan momen adalah metode Morgenstern-Price. Sementara itu perhitungan Faktor Keamanan (FK) pada metoda Morgenstern-Price menggunakan kondisi kesetimbangan gaya dan momen dari setiap irisan. Fungsi dalam metode ini akan menghasilkan suatu konstanta yang berbeda-beda untuk tiap irisan lereng. Contoh suatu busur longsoran dibagi ke dalam tujuh irisan, maka tiap irisan secara berturut-turut memiliki konstanta (0,43), (0,78), (0,97), (0,97), (0,78), (0,43) dan 0. Perhitungan Faktor Keamanan (FK) pada metoda Morgenstern-Price dalam kesetimbangan batas dilakukan dalam kondisi kesetimbangan gaya dan momen dari setiap irisan. Ditinjau dari arah vertikal, kondisi kesetimbangan gaya untuk setiap irisan menghasilkan persamaan gaya normal terhadap bidang gelincir (N). Sedangkan kondisi kesetimbangan gaya pada arah horizontal akan menghasilkan besar gaya normal antar-irisan pada sisi kanan irisan (E_R).



Gambar 1. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Lereng

Faktor keamanan diperoleh dengan prinsip mencari pasangan nilai FK dan faktor skala λ , sehingga syarat batas pada irisan terakhir dapat dipenuhi. Pasangan nilai FK dan faktor skala dicari melalui proses iterasi dengan FK awal bernilai satu ($F_0=1$) dan λ awal bernilai nol ($\lambda_0=0$) [6]. Faktor Keamanan (FK) baru pada Metoda Morgenstern-Price ini diperoleh melalui kondisi kesetimbangan gaya pada arah horizontal, sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$F_f = \frac{\Sigma (c' l \cos \alpha + (N - ul) \tan \phi' \cos \alpha)}{\Sigma (N \sin \alpha + kW)}$$

(1)

Nilai λ baru diperoleh dari kondisi kesetimbangan momen, sehingga persamaan λ dapat ditulis sebagai berikut [6]:

$$\lambda = \frac{\Sigma [\frac{b}{2} (E_R + E_L) \tan \alpha + kW h_c]}{\Sigma [\frac{b}{2} f(x_R) E_R + f(x_L) E_L]}$$

(2)

Faktor aman didefinisikan dengan memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor yang potensial dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor. Kuat geser tanah mungkin terlampaui di titik tertentu pada bidang longornya, padahal faktor aman hasil hitungan lebih besar 1. Intensitas longsor dapat diprediksikan berdasarkan nilai faktor keamanan yang diperoleh. Lereng dianggap stabil jika faktor amannya memenuhi syarat yang ditentukan, yaitu: $F \geq 1,4$ tanpa gempa dan $F \leq 1,2$ ada gempa.

Kriteria ambang batas Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) untuk lereng tambang terbuka yang diterapkan pada berbagai tambang di seluruh dunia melalui proyek *Large Open Pit* (LOP), proyek riset internasional dan transfer teknologi stabilitas lereng pada tambang terbuka batubara, tembaga, nikel, bijih besi, dan emas [7]. Contohnya untuk jenis longsor keseluruhan (*overall*) dapat dikatakan memiliki dampak longsor rendah jika memiliki nilai PK_{maks} 15-20% (Tabel 1) [8].

Tabel 1. Kriteria Ambang Batas FK dan PK pada Lereng Tambang Terbuka

Jenis Longsor	Dampak Longsor	FK min Statik	FK min Dinamik	PK maks
Tunggal/Jenjang <i>(Bench)</i>	Rendah	1,1	NA	25-50%
	Tinggi			
Multi Jenjang <i>(Interramp)</i>	Rendah	1,15-1,2	1	25%
	Sedang	1,2	1	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
Keseluruhan <i>(Overall)</i>	Rendah	1,2-1,3	1	15-20%
	Sedang	1,3	1,05	5-10%
	Tinggi	1,5	1,1	<5%

2. METODOLOGI PENELITIAN

Kegiatan orientasi lapangan dilakukan dengan mengamati secara langsung aktivitas penambangan serta mencari informasi yang berkaitan dengan permasalahan yang

dibahas melalui wawancara langsung terhadap beberapa narasumber, terkait dengan lokasi penempatan lumpur yang berasal dari area *dumping* dengan kondisi potensial terjadi *failure* akibat penempatan material lumpur.

Data yang diperlukan adalah data primer dan data sekunder. Data primer yang diambil di lapangan yaitu Data Lokasi *Mud Cell* dan Data Jarak *Mud Cell* terhadap *Crest Dump*. Data sekunder yang dikumpulkan yaitu Parameter-Parameter Material *Waste Dump*, Desain *Final* Timbunan Batuan Sisa Ujat, Data *Waste Dump Design Criteria (Construction 2H:1V Geometry Dump)*, dan Data Program *Geotech Monitoring* pada *Waste Dump*.

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan membuat *cross section* yang dapat mewakili keseluruhan area dari *Waste Dump*. *Cross section* dibuat dengan memotong tegak lurus terhadap lereng *Waste Dump*. Kemudian berdasarkan desain tersebut dapat dilakukan analisis terhadap kondisi lereng pada kondisi aktual maupun desain akhir dalam bentuk simulasi ketebalan lumpur dengan memasukkan nilai parameter-parameter material *waste dump* pada *Software Geoslide 6.0* untuk diketahui kestabilannya berdasarkan nilai Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan. Hasil analisis kestabilan lereng keseluruhan pada kondisi aktual selanjutnya dibandingkan dengan hasil program *geotech monitoring*. Hasil analisis kestabilan lereng untuk kondisi desain akhir selanjutnya dikaji ulang nilai Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan, berdasarkan ketebalan lumpur pada desain *mud cell*, selain itu dilakukan perhitungan terhadap Probabilitas Kelongsoran (PK) untuk mengetahui kemungkinan longsoran yang mungkin akan terjadi dari lereng *Waste Dump* pada kondisi aktual dan desain akhir.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Nilai Faktor Keamanan (FK) Lereng Aktual

Standar nilai Faktor Keamanan (FK) secara internal pada *waste dump* untuk dapat dikatakan bahwa *waste dump* berada pada kondisi stabil sebesar 1,4 untuk kondisi *non-seismic* dan 1,1 untuk kondisi *seismic* [8]. Nilai Faktor Keamanan (FK) ini jauh lebih besar dari hasil penelitian yang mengatakan nilai FK untuk area *expit* adalah sebesar 1,25 [5]. Berdasarkan perhitungan kestabilan lereng untuk nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) dengan *software Slide 6.0* yang dalam perhitungannya dilakukan di penampang lereng keseluruhan *Waste Dump* pada kondisi aktual dengan penempatan *mud cell*. Nilai Faktor Keamanan (FK) dengan hasil stabil untuk seluruh *cross section* baik pada kondisi *seismic* dan *non-seismic*. Nilai PK juga menunjukkan tidak adanya kemungkinan longsoran secara aktual, dengan nilai yang dihasilkan untuk seluruh *section* adalah 0 % (Tabel 2). Artinya berdasarkan kondisi penempatan lumpur pada *mud cell* aktual *Waste Dump* tidak mengalami potensi adanya longsoran baik untuk kondisi *seismic* dan *non-seismic* yang dilihat berdasarkan nilai FK dan PK.

Tabel 2. Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Aktual *Waste Dump*

Section	Jumlah Mud Cell tiap Lift	Ketinggian Mud Cell (m)	Tebal Lumpur (m)	Lebar Mud Cell Bawah (m)	Lebar Mud Cell Atas (m)	FK				PK (%)
						No-Seismic		Seismic		
						Deter	Mean	Deter	Mean	
A-A'	1	8,225	2,742	88,135	119,820	1,634	1,641	1,131	1,132	0
B-B'	1	15,651	5,217	112,41	159,690	2,021	2,023	1,404	1,405	0
C-C'	2	5,968	1,989	151,54	175,280	1,938	1,936	1,282	1,28	0
		16,329	5,443	154,56	201,340					0
D-D'	2	12,587	4,196	104,46	147,120	2,264	2,261	1,479	1,477	0
		8,095	2,698	31,087	50,272					0
E-E'	1	14,415	4,805	43,693	94,986	2,135	2,133	1,418	1,416	0

3.2. Interpretasi Hasil Peralatan *Geotech Monitoring* pada Kondisi Aktual *Waste Dump*

Peralatan *Geotech Monitoring* yang digunakan oleh Departemen *Geotech and Hydrogeology* untuk melakukan *monitoring* pada *Waste Dump* terdiri 3 jenis alat, yaitu VWP (*Vibrating Wire Piezometer*), GPS, dan *Inclinometer*. Melalui ketiga instrumen ini kita dapat mengetahui besarnya nilai pergerakan (*displacement*) lereng *Waste Dump* untuk memastikan apakah terjadi pergerakan (*displacement*) yang signifikan atau tidak di lapangan. Nilai pergerakan ini dapat dijadikan sebagai pembuktian hasil perhitungan nilai FK yang diperoleh dari *software Slide 6.0*, dengan asumsi jika nilai FK dikatakan stabil berarti pergerakan pada peralatan monitoring sangat kecil dan apabila nilai FK sangat kecil berarti pergerakan pada lereng *Waste Dump* besar dan kemungkinan akan terjadi kelongsoran. Peralatan *geotech monitoring* yang digunakan pada *Waste Dump* terdiri dari 5 buah VWP, 3 buah HP GPS, dan 1 buah *Inclinometer*.

3.3. Simulasi Perhitungan Kestabilan Lereng Desain Akhir

Berdasarkan perhitungan kestabilan lereng untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) pada desain akhir *Waste Dump* dengan *software Slide 6.0* dikatakan bahwa pada keempat simulasi ketebalan lumpur dapat diketahui sejauh mana kestabilan *Waste Dump* pada tiap *section*.

Simulasi I yang mana dilakukan simulasi untuk ketebalan lumpur yang ditiadakan artinya dianggap tidak akan dilakukan penimbunan lumpur sama sekali hingga desain akhir *waste dump* pada elevasi 720 m. Nilai Faktor Keamanan (FK) yang stabil dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) yang nihil pada simulasi lereng timbunan untuk kondisi *non seismic* dan *seismic* pada seluruh *section* timbunan mengindikasikan tebal lumpur kemungkinan akan mempengaruhi kestabilan lereng. *Section A-A'* memiliki nilai FK_{deter} sebesar 1,633 dan FK_{mean} 1,635 untuk

kondisi *non seismic* dan FK_{deter} 1,158 dan FK_{mean} 1,159 untuk kondisi *seismic*. Nilai PK untuk *section A-A'* adalah 0% (Tabel 3).

Simulasi II yang mana dilakukan simulasi berdasarkan rata-rata ketebalan lumpur aktual setebal 3,87 meter di *Waste Dump*. Nilai Faktor Keamanan (FK) yang cukup stabil dan nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) yang kecil pada *section A* dan *E* saat adanya simulasi tebal lumpur mulai mengindikasikan bahwa tebal lumpur kemungkinan mempengaruhi kestabilan lereng. *Section A-A'* memiliki nilai FK_{deter} sebesar 1,573 dan FK_{mean} 1,575 untuk kondisi *non seismic* dan FK_{deter} 1,088 dan FK_{mean} 1,088 untuk kondisi *seismic*. Nilai PK untuk *section A-A'* adalah 3,5% (Tabel 4).

Simulasi III yang mana dilakukan simulasi berdasarkan 2 kali nilai rata-rata ketebalan lumpur actual setebal 7,74 meter. Simulasi penempatan lumpur dan geometri lereng dilakukan menggunakan rekomendasi geoteknik [9]. *Section D-D'* pada simulasi tebal lumpur 7,74 meter mengindikasikan lereng *section D-D* akan tetap stabil pada kondisi *seismic* dengan nilai PK 0% (Tabel 5).

Simulasi IV yang mana dilakukan simulasi berdasarkan 3 kali nilai rata-rata ketebalan lumpur actual setebal 11,62 meter pada simulasi desain akhir Ujat *Waste Dump*. Nilai Faktor Keamanan (FK) yang stabil untuk kondisi *non seismic* pada seluruh *section* dan penurunan nilai FK yang drastis dengan adanya kegempaan dan tebal lumpur 11,62 meter menunjukkan bahwa faktor kegempaan dan tebal lumpur yang tinggi memang akan mempengaruhi kestabilan suatu lereng. *Section C-C'* pada simulasi tebal lumpur 11,62 meter mengindikasikan lereng *section D-D* akan tetap stabil pada kondisi *non seismic* dengan adanya tebal lumpur sebesar 11,62 meter akan tetapi pada kondisi *seismic* diperoleh FK_{deter} sebesar 0,864 dan FK_{mean} 0,864. Dikatakan dengan nilai FK *seismic* sebesar 0,864 suatu lereng akan 100% mengalami kelongsoran jika dalam waktu yang sama terdapat tebal lumpur 11,62 meter dengan adanya gempa (Tabel 6).

Tabel 3. Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Desain Akhir Simulasi Tebal Lumpur Ditiadakan di *Waste Dump*

Section	Jumlah Mud Cell	Tebal Lumpur Aktual (m)	Simulasi Tebal Lumpur (m)	Simulasi Lebar Mud Cell Bawah (m)	Simulasi Lebar Mud Cell Atas (m)	FK				PK (%)
						Non-seismic		Seismic		
						Deter	Mean	Deter	Mean	
A-A'	1	8,23	0	0	0	1,633	1,635	1,158	1,159	0
B-B'	1	15,65	0	0	0	1,673	1,676	1,135	1,136	0
C-C'	2	5,97	0	0	0	1,687	1,685	1,146	1,147	0
		16,33								0
D-D'	2	12,59	0	0	0	1,689	1,691	1,147	1,148	0

		8,10								0
E-E'	1	14,42	0	0	0	1,607	1,609	1,1	1,101	0

Tabel 4. Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Desain Akhir Simulasi Tebal Lumpur 3,87 Meter di Waste Dump

Section	Jumlah Mud Cell	Simulasi Ketinggian Mud Cell (m)	Simulasi Tebal Lumpur (m)	Lebar Mud Cell Bawah (m)	Simulasi Lebar Mud Cell Atas (m)	FK				PK (%)
						No-Seismic		Seismic		
						Deter	Mean	Deter	Mean	
A-A'	1	11,61	3,87	91,197	160,2	1,573	1,575	1,088	1,088	3,5
B-B'	1	11,61	3,87	91,197	160,2	1,616	1,618	1,108	1,109	0
C-C'	2	11,61	3,87	91,197	160,2	1,647	1,649	1,156	1,155	0
D-D'	2	11,61	3,87	91,197	160,2	1,623	1,625	1,122	1,123	0
E-E'	1	11,61	3,87	91,197	160,2	1,561	1,562	1,068	1,068	5,6

Tabel 5. Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Desain Akhir Simulasi Tebal Lumpur 7,74 Meter di Waste Dump

Section	Jumlah Mud Cell	Simulasi Ketinggian Mud Cell (m)	Simulasi Tebal Lumpur (m)	Lebar Mud Cell Bawah (m)	Simulasi Lebar Mud Cell Atas (m)	FK				PK (%)
						No-Seismic		Seismic		
						Deter	Mean	Deter	Mean	
A-A'	1	23,229	7,74	91,197	160,2	1,405	1,406	0,978	0,978	63,6
B-B'	1	23,229	7,74	91,197	160,2	1,420	1,421	1,059	1,060	16,2
C-C'	2	23,229	7,74	91,197	160,2	1,525	1,527	1,042	1,043	24,8
D-D'	2	23,229	7,74	91,197	160,2	1,601	1,603	1,114	1,118	0
E-E'	1	23,229	7,74	91,197	160,2	1,406	1,407	0,989	0,990	57,3

Tabel 6. Faktor Keamanan Lereng Keseluruhan Desain Akhir Simulasi Tebal Lumpur 11,62 Meter di Waste Dump

Section	Jumlah Mud Cell	Simulasi Ketinggian Mud Cell (m)	Simulasi Tebal Lumpur (m)	Lebar Mud Cell Bawah (m)	Simulasi Lebar Mud Cell Atas (m)	FK				PK (%)
						No-Seismic		Seismic		
						Deter	Mean	Deter	Mean	
A-A'	1	34,845	11,62	91,197	160,2	1,299	1,297	0,941	0,941	87,3
B-B'	1	34,845	11,62	91,197	160,2	1,377	1,378	0,914	0,915	99,8
C-C'	2	34,845	11,62	91,197	160,2	1,310	1,310	0,864	0,864	100
D-D'	2	34,845	11,62	91,197	160,2	1,545	1,547	1,083	1,085	4,7
E-E'	1	34,845	11,62	91,197	160,2	1,218	1,220	0,916	0,915	99,8

3.4. Korelasi antara Tebal Lumpur dan Kestabilan Lereng Keseluruhan Desain Akhir Waste Dump

Korelasi antara tebal lumpur yang disimulasikan pada desain akhir Ujat *Waste Dump* dengan Faktor Keamanan Determinasi (FK_{deter}) lereng keseluruhan pada *section A-A'* diperoleh nilai persamaan untuk *FK Non Seismic* dengan tebal lumpur *mud cell* sebesar $Y = -0,0302X + 1,6529$ dan nilai koefisien determinasi (R^2)=0,972 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan sangat erat diantara keduanya [10]. Persamaan linear antara *FK Seismic* dengan tebal lumpur yaitu $Y = -0,0196X + 1,1553$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) =0,9693 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan yang sangat erat diantara keduanya [10]. Korelasi antara tebal lumpur yang disimulasikan pada desain akhir Ujat *Waste Dump* dengan Faktor Keamanan Determinasi (FK_{deter}) lereng keseluruhan pada *section B-B'* diperoleh nilai persamaan untuk *FK Non Seismic* dengan tebal lumpur *mud cell* sebesar $Y = -0,0324X + 1,7302$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) = 0,9114 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan sangat erat diantara keduanya [10]. Persamaan linear antara *FK Seismic* dengan tebal lumpur yang ada yaitu $Y = -0,0184X + 1,1608$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) =0,8714 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan yang sangat erat diantara keduanya [10].

Korelasi antara tebal lumpur yang disimulasikan pada desain akhir Ujat *Waste Dump* dengan Faktor Keamanan Determinasi (FK_{deter}) lereng keseluruhan pada *section C-C'* diperoleh nilai persamaan untuk *FK Non Seismic* dengan tebal lumpur *mud cell* sebesar $Y = -0,0324X + 1,7302$ dan nilai koefisien determinasi (R^2)=0,9114 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan sangat erat diantara keduanya [10]. Persamaan linear antara *FK Seismic* dengan tebal lumpur yaitu $Y = -0,0248X + 1,196$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) =0,8368 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan yang erat diantara keduanya [10.]

Korelasi antara tebal lumpur yang disimulasikan pada desain akhir *Waste Dump* dengan Faktor Keamanan Determinasi (FK_{deter}) lereng keseluruhan pada *section D-D'* diperoleh nilai persamaan untuk *FK Non Seismic* dengan tebal lumpur *mud cell* sebesar $Y = -0,0117X + 1,6826$ dan nilai koefisien determinasi (R^2)=0,9691 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan sangat erat diantara keduanya [10]. Persamaan linear antara *FK Seismic* dengan tebal lumpur yaitu $Y = -0,0052X + 1,465$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) =0,9576 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan yang erat diantara keduanya [10].

Korelasi antara tebal lumpur yang disimulasikan pada desain akhir *Waste Dump* dengan Faktor Keamanan Determinasi (FK_{deter}) lereng keseluruhan pada *section A-A'* diperoleh nilai persamaan untuk *FK Non Seismic* dengan tebal lumpur *mud cell* sebesar $Y = -0,0341X + 1,6463$ dan nilai koefisien determinasi (R^2)=0,9427 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan sangat erat diantara keduanya [10]. Persamaan linear antara *FK Seismic* dengan tebal lumpur Ujat yaitu $Y = -0,0163X + 1,1129$ dan nilai koefisien determinasi (R^2) =0,9727 hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan nilai R^2 terjadi hubungan yang erat diantara keduanya [10].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan sebelumnya maka ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai kestabilan lereng keseluruhan pada *Waste Dump* secara aktual diperoleh nilai yang stabil untuk kondisi *non seismic* dan *seismic* pada seluruh *section* dengan nilai Faktor Keamanan (FK) pada *cross section* A, B, C, D dan E lebih besar dari 1,4 untuk kondisi *non seismic* dan diatas 1,1 untuk kondisi *seismic*. Hal ini juga dibuktikan dengan perhitungan Probabilitas Kelongsoran (PK) dengan nilai 0% untuk seluruh *section*.
2. Interpretasi dari peralatan *geotech monitoring* yang dilakukan menunjukkan lereng tidak terjadi pergerakan (*displacement*) yang signifikan (hanya dalam hitungan mm dalam kurun bulanan), berarti lereng *Waste Dump* dikatakan berada pada kondisi aman secara aktual.
3. Simulasi ketebalan lumpur desain akhir Ujat *Waste Dump* menunjukkan bahwa tebal lumpur mulai mempengaruhi nilai FK dan PK pada simulasi tebal lumpur 3,387 meter *section* A-A' dan E-E. Semakin besar ketebalan lumpur yang diaplikasikan akan mengurangi nilai FK dan memperbesar nilai PK pada suatu lereng. Simulasi tebal lumpur 11,62 meter pada *section* C-C' merupakan lereng dengan nilai FK terkecil yaitu FK_{deter} 0,864 dan FK_{mean} 0,864. Simulasi ini menunjukkan nilai PK 100% pada lereng tersebut.
4. Nilai R^2 (koefisien determinasi) menunjukkan hubungan yang kuat hingga sangat kuat yang terdapat pada *cross section* A-A', B-B', C-C', D-D' dan E-E' antara tebal lumpur dengan Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan artinya penambahan ketebalan lumpur pada *mud cell* memiliki hubungan dengan nilai FK yang diperoleh. Semakin besar ketebalan lumpur yang diaplikasikan maka nilai FK akan semakin kecil dan semakin kecil ketebalan lumpur yang ada maka nilai FK akan semakin besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Pimpinan PT. Amman Mineral Nusa Tenggara beserta staf yang telah banyak membantu dan memfasilitasi penelitian ini.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT Amman Mineral Nusa Tenggara. (2015). “*Data Internal Departemen Dump and Project Mine Engineering Mud Cell Ujat 2015*”. Sekongkang, Nusa Tenggara Barat.
- [2] Turner, A. Keith and Verne C. McGuffey (1996). *Landslides--Investigation and Mitigation*. New York: National Academy Press.
- [3] CHEN F.H. (1975). *Foundations on expansive soils Developments in Geotechnical Engineering*. New York: Elsevier Scientific Publishing Company.
- [4] Mitchell, J. K. and Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd edition. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Rekzyanti, Raifah. (2006). *Analisis Kestabilan Lereng Akibat Gempa*. Skripsi, Fakultas Teknik: Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [6] D.Y. Zhu. (2005). *Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics*. China: Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences.
- [7] Hoek and P.G. Marinos. (2007). *A Brief History of the Development of the Hoek-Brown Failure Criterion, Soils and Rock*. New York: Institution of Mining and Metallurgy.
- [8] PT Amman Mineral Nusa Tenggara. (2012) “*Data Internal Departemen Geotech and Hydrogeology Expit Some Useful Numbers on the Engineering Properties of Materials (Geologic and Otherwise) GEOL 615*”. Sekongkang, Nusa Tenggara Barat.

- [9] PT Amman Mineral Nusa Tenggara. (2013) "*Data Internal Departemen Dump and Project Mine Engineering SOP Geometry Dump 2H: 1V*". Sekongkang: Nusa Tenggara Barat.
- [10] Guilford, J.P. (1956). *Fundamental Statistic in Psychology and Education*. 3rd Ed. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.