

## **Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Grasberg PT Freeport Indonesia**

(Studi Kasus Rancangan Lereng pada Saat Ini (Juli 2016), Sebelum (Forecast 2013q2r1) dan Sesudah (Forecast 2016q3r2) Optimasi Lereng Tambang)

Slope Stability Analysis of Grasberg Open Pit Mining PT Freeport Indonesia  
(Case Study of Slope Design at This Time (July 2016), Before (Forecast 2013q2r1 and After (Forecast 2016q3r2) Mining Slope Optimizing)

<sup>1</sup>Ryan Agung Wibowo, <sup>2</sup>Yuliadi, <sup>3</sup>Maryanto

<sup>1,2,3</sup>Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,  
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116

Email: <sup>1</sup>ryanagungwibowo@yahoo.co.id, <sup>2</sup>yuliadi@unisba.ac.id, <sup>3</sup>maryanto.geo@gmail.com

**Abstract.** PT Freeport Indonesia is one of the mining industry which produce copper ore and gold. In the operation, this company applied 2 mining system; surface mine and underground mine. Surface mine which is still active until now is Grasberg Open Pit mining. Grasberg open pit mining which is using slope design (forecast 2013Q2R1) at this time will do slope design change became forecast 2016Q3R2. On slope stability analysis actual condition show that safety factor grade archived is 1,68 with overall slope = 39°, maximum height = 900 meters. On slope stability analysis condition forecast 2013Q2R1 show that safety factor grade archived is 1,44 with overall slope = 41° maximum height = 1155 meters and displacement with geotextile installed is 1 to 5 meters on azimuth area 10°, 30°, 150°, 170°, 180°, 290°, 300° and 350°. On slope stability analysis condition forecast 2016Q3R2 show that safety factor grade archived is 1,40 with overall slope = 42° maximum height = 1155 meters and displacement with geotextile installed is 1 to 4 meters on azimuth area 30°, 50°, 80°, 180°, and 220°. From those three slope design it is recommended that slope design Forecast 2016Q3R2 with overall slope 42°, maximum height = 1155 meters and safety factor about 1,40 still can be used to do the slope optimizing before the closing of Grasberg Open Pit mining with some preventive action to prevent the landslide in some critical areas.

**Keywords:** Forecast, Slope Stability, Displacement, Geotextile, Safety Factor

**Abstrak.** PT Freeport Indonesia adalah salah satu industri pertambangan yang menghasilkan bijih tembaga dan emas. Dalam operasinya perusahaan ini menerapkan dua sistem penambangan yaitu tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Tambang terbuka yang masih aktif saat ini yaitu Tambang Terbuka Grasberg. Tambang Terbuka Grasberg yang menggunakan rancangan lereng (forecast) 2013Q2R1 pada saat ini akan melakukan perubahan rancangan lereng menjadi forecast 2016Q3R2. Pada analisis stabilitas lereng kondisi aktual menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) berada dalam kondisi aman yaitu FK = 1,68 dengan sudut lereng keseluruhan (Overall Slope) = 39° dan ketinggian maksimum = 900 meter. Pada kondisi rancangan lereng (forecast) 2013Q2R1 menunjukkan nilai faktor keamanan (FK) didapatkan sebesar 1,44 dengan sudut keseluruhan (Overall slope) mencapai 41°, ketinggian maksimum = 1155 meter dan pergerakan material (displacement) yang telah dipasang geotextile yaitu 1 sampai 5 meter pada area azimuth 10°, 30°, 150°, 170°, 180°, 290°, 300° dan 350°. Pada kondisi rancangan lereng (forecast) 2016Q3R2 menunjukkan nilai faktor keamanan (FK) = 1,40 dengan sudut keseluruhan (Overall Slope) = 42°, ketinggian maksimum = 1155 meter dan pergerakan material (displacement) yang telah dipasang geotextile yaitu 1 sampai 4 meter pada area azimuth 30°, 50°, 80°, 180°, dan 220°. Dari ketiga rancangan lereng tersebut direkomendasikan bahwa “rancangan lereng (forecast) 2016Q3R2” dengan sudut keseluruhan (Overall Slope) 42°, ketinggian maksimum = 1155 meter dan faktor keamanan (FK) sebesar 1,40 masih bisa digunakan untuk melakukan optimasi lereng menjelang penutupan tambang terbuka Grasberg dengan beberapa catatan dan upaya preventif agar tidak terjadi longsor pada beberapa area yang memiliki nilai kritis.

**Kata Kunci:** Forecast, Stabilitas Lereng, Displacement, Geotextile, Faktor Keamanan

## A. Pendahuluan

### Latar Belakang

PT Freeport Indonesia (PTFI) merupakan perusahaan tambang tembaga dan emas terbesar di Indonesia yang berada di Distrik Tembagapura, Kabupaten Mimika, Provinsi Papua. Dalam operasinya perusahaan ini menerapkan dua sistem penambangan yaitu tambang terbuka dan tambang bawah tanah. Tambang terbuka yang masih aktif saat ini yaitu Tambang Terbuka Grasberg. Pada tahun 2018 tambang tersebut akan diperkirakan berhenti berproduksi dan hanya melakukan pemantauan pergerakan material.

Tambang Terbuka Grasberg sudah memiliki desain rencana sejak awal ditambang hingga saat sekarang. Salah satu yang berhubungan dalam desain rencana pit tambang adalah geometri lereng tambang. Menjelang berhentinya Tambang Terbuka Grasberg, pada sekarang ini PT Freeport Indonesia melakukan perubahan desain lereng dari Forecast 2013Q2R1 tahun 2013 menjadi rencana desain lereng tahun 2016 yang diberi nama Forecast 2016Q3R2 untuk optimasi bentuk lereng dari Open Pit Grasberg. Maka dari itulah perlu adanya analisis kestabilan lereng agar selain mementingkan faktor keekonomisan tambang yang tidak kalah pentingnya juga adalah menjaga keselamatan para pekerja, operasi produksi, kerusakan alat-alat serta kegiatan penambangan lainnya.

### Tujuan Penelitian

1. Mengetahui stabilitas lereng pada kondisi aktual (Topografi Juli 2016).
2. Mengetahui stabilitas lereng pada kondisi sebelum optimasi lereng tambang (Forecast 2013Q2R1).
3. Mengetahui stabilitas lereng pada kondisi sesudah optimasi lereng tambang (Forecast 2016Q3R2).
4. Merekomendasikan rancangan geometri lereng pada Tambang Terbuka Grasberg menjelang penutupan berdasarkan rancangan desain yang telah diberikan.

## B. Landasan Teori

Dalam penambangan secara tambang terbuka (*open pit*), analisis stabilitas lereng merupakan salah satu analisis penting dalam kajian geoteknik. Secara umum analisis kestabilan lereng pada tambang terbuka merupakan suatu penyelidikan terhadap perbandingan gaya yang menahan longsor (*resisting force*) dengan gaya yang mendorong untuk longsor atau (*driving force*) menurut (E. Hoek & J Bray, 1981).

Kestabilan lereng tergantung pada gaya penggerak dan penahan yang ada pada lereng tersebut. Gaya penggerak adalah gaya-gaya yang mengakibatkan lereng longsor. Sedangkan gaya penahan adalah gaya-gaya yang mempertahankan kemantapan lereng tersebut. Jika gaya penahannya lebih besar dari gaya penggerak, maka lereng tersebut dalam keadaan aman. Nilai kestabilan lereng dapat digunakan dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Faktor Keamanan} = \frac{\text{Gaya Penahan } (\tau)}{\text{Gaya Penggerak } (s)}$$

Faktor-faktor yang perlu diperhatikan dalam menganalisa kestabilan lereng penambangan menurut (Ir. Karyono M.T, Diklat Perencanaan Tambang Terbuka, Unisba) sebagai berikut:

1. Geometri Lereng Tambang
2. Sifat Mekanik dan Fisik Batuan atau Tanah (cohesi, sudut geser dalam, young modulus, poisson ratio, kuat Tarik Batuan dll).
3. Struktur Geologi.
4. Kondisi Muka Air Tanah.
5. Iklim.
6. Faktor Luar meliputi getaran akibat kegiatan peledakan atau kegempaan.

Mengingat banyaknya faktor yang mempengaruhi tingkat kestabilan lereng penambangan maka hasil analisa dengan  $FK = 1.00$  belum dapat menjamin bahwa lereng tersebut dalam keadaan stabil. Hal ini disebabkan karena ada beberapa faktor yang perlu diperhitungkan dalam analisa faktor keamanan lereng penambangan, seperti kekurangan dalam pengujian conto di laboratorium serta conto batuan yang diambil belum mewakili keadaan sebenarnya di lapangan, tinggi muka air tanah pada lereng tersebut, getaran akibat kegiatan peledakan di lokasi penambangan, beban alat mekanis yang beroperasi. Dengan demikian, diperlukan suatu nilai faktor keamanan minimum dengan suatu nilai tertentu yang disarankan sebagai batas faktor keamanan terendah yang masih aman sehingga lereng dapat dinyatakan stabil atau tidak.

Menurut Bowles (1989) ditinjau dari intensitas kelongsorannya ada 3 kelompok rentang faktor keamanan (FK) seperti tabel dibawah ini:

**Tabel 1.** Kriteria Nilai Keamanan Lereng

Nilai Faktor Keamanan (FK)	Kejadian/Intensitas Longsor
$FK < 1.07$	Longsor biasa/sering Terjadi (Lereng labil)
$1.07 < FK < 1.25$	Longsor Pernah Terjadi (Lereng kritis)
$FK > 1.25$	Longsor Jarang Terjadi (Lereng Relatif Stabil)

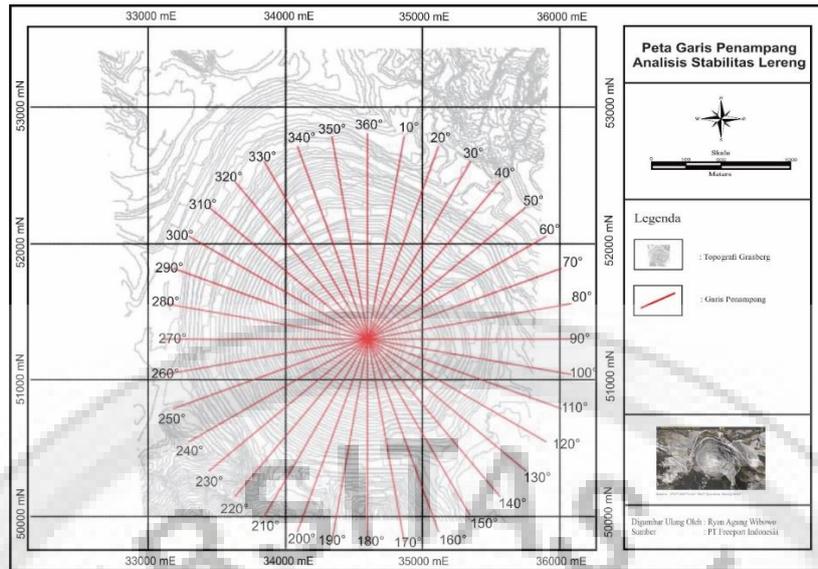
### C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

#### Pengumpulan Data Analisis Kestabilan Lereng Tambang Terbuka Grasberg.

Dalam menganalisis kestabilan lereng data yang diambil berupa:

1. Penampang (*section line*) per  $10^\circ$  azimuth

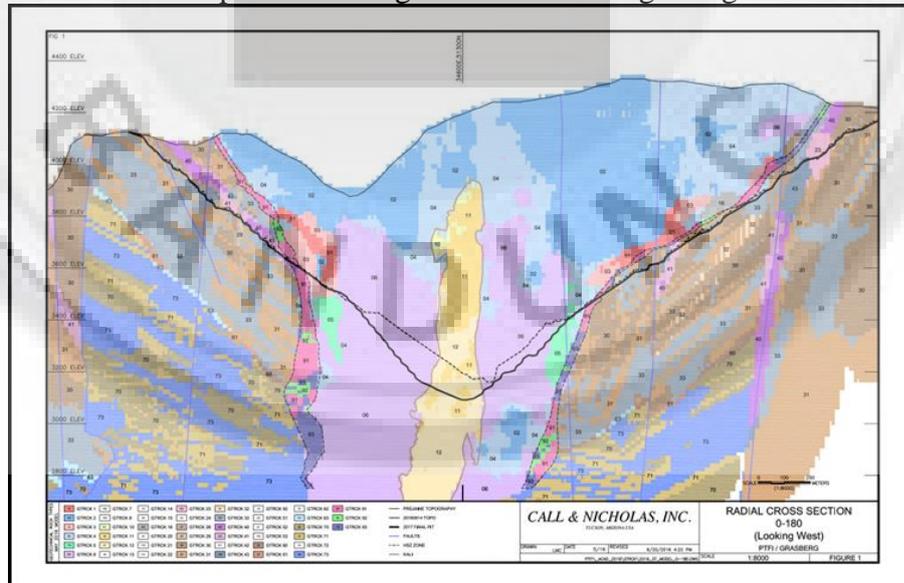
Menjelang penutupan Tambang Terbuka Grasberg akan dilakukan analisis stabilitas lereng pada setiap radial per  $10^\circ$  azimuth dari keseleruhan lereng Pit. Berikut ini adalah garis penampang yang ditentukan pada area Tambang Terbuka Grasberg pada gambar 1.



**Gambar 1.** Peta Garis Penampang Analisis Stabilitas Lereng

2. Kondisi Sebaran Material dan Geotechnical Rockcode (GTRCK)

Geotechnical Rock Code (GTRCK) merupakan klasifikasi jenis batuan berdasarkan parameter geoteknik pada Tambang Terbuka Grasberg. GTRCK mengelompokkan batuan berdasarkan jenis batuan (Batuan Beku dan Batuan Sedimen), sifat mekanika batuan, tipe ubahan hidrotermal, kumpulan mineral lempung dan serisit yang berasal dari batuan-batuan ubahan argilik, propilitik dan lainnya dan *Rock Quality Designation* (RQD). Kemudian, GTRCK ini dimodelkan untuk keperluan perencanaan tambang dan mendukung operasional harian penambangan. Setiap jenis batuan diberi kode untuk keperluan desain lereng tambang. Berikut adalah contoh penampang radial 0-180 berdasarkan GTRCK pada Tambang Terbuka Grasberg dari gambar 2.



**Gambar 2.** Litologi Penampang Pada Radial 0-180° Azimut GTRCK

3. Input Parameter Kekuatan Batuan Berdasarkan GTRCK

Pada Tambang Terbuka Grasberg dilakukan pengambilan data kekuatan batuan pada tiap material yang berguna untuk kegiatan perencanaan tambang dan keperluan

geoteknik. Klasifikasi tipe batuan di Tambang Terbuka Grasberg berdasarkan parameter geoteknik, dan disebut sebagai *Geotechnical Rock Code* (GTRCK). Sehingga memiliki nilai kekuatan batuan yang berbeda-beda.

**Tabel 2.** Kekuatan Batuan GTRCK Pada Tambang Terbuka Grasberg

Tipe GTRCK	Tipe Material	Rock Mass		Rock Mass Tension (Mpa)	young's Mod (Mpa)	Poisson ratio (v)	Bobot Isi (Mn/m <sup>3</sup> )
		Sudut Geser Dalam (°)	Kohesi (Mpa)				
GTRCK 1 - 4	Dalam Fine, Dalam Coarse	32.9	0.1372	0.0744	2275.269	0.31	0.02396
GTRCK 5	Hard Zone- T6 w/clay	31	1.9725	0.630	20822.167	0.33	0.02676
GTRCK 6	Hard Zone- T6	35.5	1.974	0.694	20822.167	0.3	0.02676
GTRCK 8 & 23	Sediments/Limestone-Banded Clay	24.7	0.0499	0	3447.378	0.37	0.0277
GTRCK 91	HSZ-91	19.4	0.0499	0	689.475	0.4	0.02303
GTRCK 92	HSZ-92	25.4	0.0499	0	2482.112	0.36	0.02559
GTRCK 93	HSZ-93	38	2.8702	1.148	39713.8	0.28	0.03440
GTRCK 10	Kali-5%	28.2	0.4853	0.145	10617.9	0.35	0.02675
GTRCK 11	Kali-25%	33.8	0.7949	0.267	13789.5	0.31	0.02675
GTRCK 12	Kali-75%	41	2.8640	1.132	26337.9	0.26	0.02675
GTRCK 14	Karume	39.2	3.3632	1.417	26337.9	0.27	0.02695
GTRCK 30	Sediments/Limestone Tk - 20%	35.7	0.4488	0.170	14272.1	0.29	0.02695
GTRCK 31	Sediments/Limestone Tk - 50%	37.8	0.9631	0.382	21097.9	0.28	0.02695
GTRCK 33	Sediments/Limestone Tk - 80%	41	2.0849	0.890	31095.35	0.26	0.02695
GTRCK 32, 42, 52	Sediments/Limestone Broken Tk - 50	27.7	1.0066	0.324	21097.9	0.35	0.02695
GTRCK 60 - 63	Sediments/Limestone-Sirga	37	0.7218	0.463	13444.7	0.28	0.02574
GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone-(Non-Tk Sed)	46.8	3.246	1.401	40885.9	0.21	0.02719
GTRCK 24	Dumps + Glacial Till (CST)	38.3	0.1999	0	482.633	0.3	0.01697
GTRCK 25	Dumps + Glacial Till (OBS)	38.3	0.1999	0	482.633	0.3	0.01697
GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone 9 Faumai/Waripi)	38.1	2.1973	0.821	31233.25	0.28	0.03051

#### 4. Penguatan Lereng Menggunakan *Geotextile*

Dalam mencegah pergerakan material yang terlalu besar pada area lereng yang kemungkinan akan terjadi maka diperlukan upaya preventif agar kondisi lereng tetap terjaga kestabilannya dengan pemasangan selubung kain berbahan polimer/plastik untuk menutupi material pada lereng tersebut agar air tidak membebani kondisi lereng yang akan menimbulkan kondisi lereng yang tidak aman. Berikut nilai spesifikasi pemasangan *Geotextile* untuk penguatan lereng:

**Tabel 3.** Spesifikasi Geotekstil

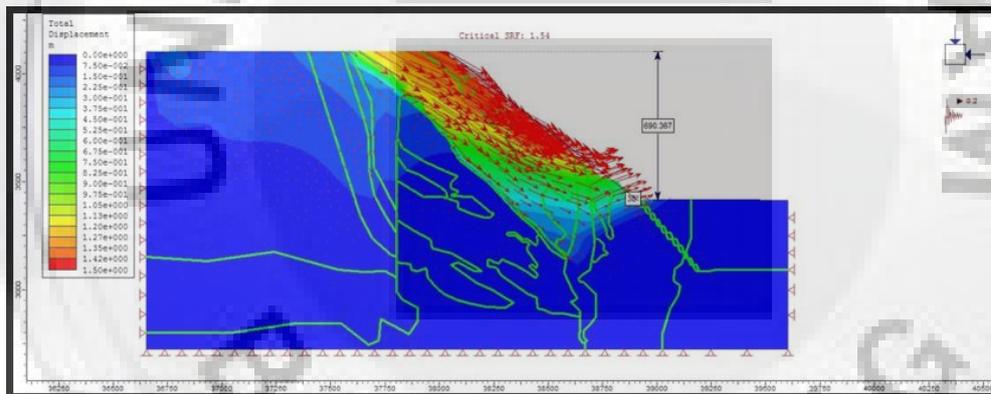
Tipe	Warna	Berat Asli	Ukuran	Diameter	Tensile Strength
150 gr	Black	± 120 kg	4 x 200 m	±50 cm	32 ~ 36 kN
<b>200 gr</b>	<b>Black</b>	<b>± 160 kg</b>	<b>4 x 200 m</b>	<b>±55 cm</b>	<b>41 ~ 45 kN</b>
250 gr	Black	± 150 kg	4 x 150 m	±60 cm	51 ~ 55 kN

## Hasil Analisis Kestabilan Lereng Per 10° Azimut

Metode analisis yang akan dirunning menggunakan perangkat lunak phase2 V.8 dengan metode elemen hingga dengan parameter yang telah ditentukan dan hasil dari pemodelan rancangan lereng pada saat penelitian, sebelum (Forecast 2013Q2R1) dan sesudah optimasi (Forecast 2016Q3R2) berupa arah pergerakan material lereng, nilai faktor keamanan yang didapat pada setiap penampang dengan asumsi kondisi lereng dalam keadaan kering. Berikut hasil analisisnya:

### 1. Analisis pada Kondisi Aktual (Juli 2016)

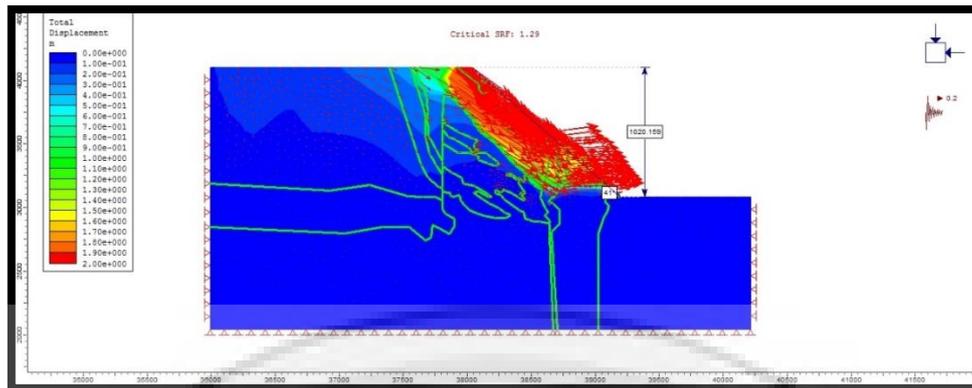
Pada kondisi aktual dari hasil perhitungan didapatkan nilai faktor keamanan dan pergerakan material dengan sebelum pemasangan *geotextile* lalu sesudah pemasangan *geotextile*. Faktor keamanan pada kondisi lereng keseluruhan aktual (Juli 2016) menunjukkan dalam keadaan masih stabil ditunjukkan dengan nilai  $FK = 1,68$  dengan sudut lereng keseluruhan (*Overall Slope*) =  $39^\circ$  dan ketinggian maksimum 900 meter. Lalu berdasarkan nilai pergerakan material disetiap penampang menunjukkan bahwa lereng yang tanpa dipasang *geotextile* lebih besar dari pada lereng yang dipasang *geotextile* ini diakibatkan karena adanya penguatan lereng tersebut. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang *geotextile* yang paling besar terdapat pada area azimuth  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $170^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $230^\circ$  dan  $270^\circ$  dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai 4 sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 5 meter.



**Gambar 3.** Nilai Faktor Keamanan Keseluruhan Azimut  $0^\circ$  Lereng Aktual

### 2. Analisis pada Kondisi Lereng 2013Q2R1

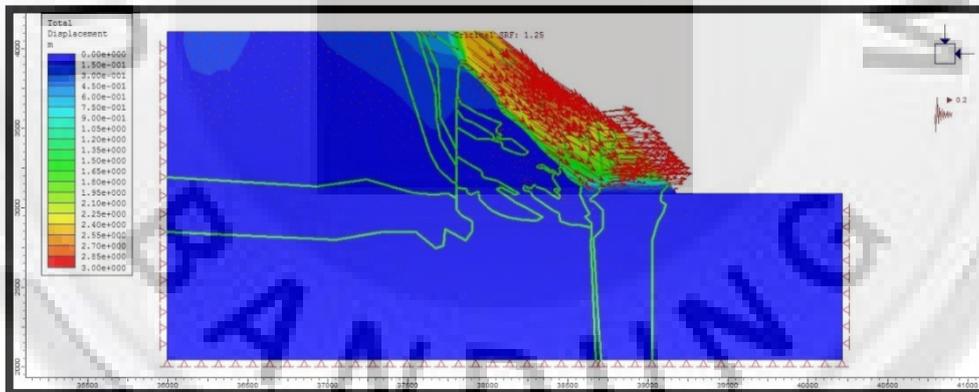
Pada kondisi lereng (*forecast*) 2013Q2R1 didapatkan nilai Faktor keamanan pada kondisi lereng keseluruhan menunjukkan dalam rata-rata keadaan masih stabil ditunjukkan dengan nilai  $FK = 1,44$  dengan sudut keseluruhan sebesar  $41^\circ$  dan ketinggian maksimum 1155 meter. Namun pada azimuth  $20^\circ$ ,  $290^\circ$  dan  $300^\circ$  menunjukkan pada angka keamanan lereng yang kritis. Lalu berdasarkan nilai pergerakan material di setiap penampang menunjukkan bahwa lereng yang tanpa dipasang *geotextile* lebih besar dari pada lereng yang dipasang *geotextile*. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang *geotextile* yang paling besar terdapat pada area azimuth  $10^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $150^\circ$ ,  $170^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $290^\circ$ ,  $300^\circ$  dan  $350^\circ$  dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 5 meter.



**Gambar 4.** Nilai Faktor Keamanan Keseluruhan Azimut 0° Lereng 2013Q2R1

### 3. Analisis pada Kondisi Lereng 2016Q3R2

Pada kondisi lereng (*forecast*) 2016Q3R2 didapatkan nilai faktor keamanan kondisi lereng keseluruhan menunjukkan dalam rata-rata keadaan masih stabil ditunjukkan dengan nilai FK = 1,40 dengan sudut keseluruhan sebesar 42° dan ketinggian maksimum 1155 meter. Namun pada azimuth 20°, 180°, 190°, 290° dan 300° menunjukkan pada angka keamanan lereng yang kritis. Lalu berdasarkan nilai pergerakan material di setiap penampang menunjukkan bahwa lereng yang tanpa dipasang *geotextile* lebih besar dari pada lereng yang dipasang *geotextile*. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang *geotextile* yang paling besar terdapat pada area azimuth 30°, 50°, 80°, 180°, dan 220° dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 4 meter.



**Gambar 5.** Nilai Faktor Keamanan Keseluruhan Azimut 0° Lereng 2016Q3R2

## D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan, di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Analisis kestabilan lereng pada lereng kondisi aktual (Juli 2016) menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan yang didapat dalam kondisi aman dengan FK=1,68 dengan sudut lereng keseluruhan (*Overall Slope*)=39° dan ketinggian maksimum 900 meter. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang *geotextile* yang paling besar terdapat pada area azimuth 30°, 40°, 60°, 170°, 180°, 230° dan 270° dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai 4 sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 5 meter.

2. Analisis kestabilan lereng pada lereng forecast 2013Q2R1 menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan rata-rata berada pada angka FK = 1,44 dengan sudut lereng keseluruhan (*Overall Slope*) mencapai 41° dan ketinggian maksimum 1155 meter. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang geotextile yang paling besar terdapat pada area azimuth 10°, 30°, 150°, 170°, 180°, 290°, 300° dan 350° dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 5 meter.
3. Analisis kestabilan lereng pada lereng forecast 2016Q3R2 menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan rata-rata berada pada angka FK 1,40 dengan sudut lereng keseluruhan (*Overall Slope*) mencapai 42° dan ketinggian maksimum 1155 meter. Angka pergerakan material (*Displacement*) sebelum dipasang *geotextile* yang paling besar terdapat pada area azimuth 30°, 50°, 80°, 180°, dan 220° dengan nilai maksimum pergerakan materialnya mencapai sampai 8 meter. Setelah pemasangan *geotextile* nilai pergerakannya menurun menjadi 1 sampai 4 meter.
4. Dari ketiga rancangan lereng tersebut direkomendasikan bahwa “rancangan lereng (*forecast*) 2016Q3R2” dengan sudut lereng keseluruhan (*Overall Slope*) 42°, ketinggian maksimum = 1155 meter dan faktor keamanan (FK) sebesar 1,40 masih bisa digunakan untuk melakukan optimasi lereng menjelang penutupan tambang terbuka Grasberg dengan beberapa catatan dan upaya preventif agar tidak terjadi longsor pada beberapa area yang memiliki nilai kritis.

#### Daftar Pustaka

- Arif, Irwandy. 2010. *Analisa Kemantapan Lereng dan Falsafah Kemantapan Lereng*, Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan ITB.
- Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang, mewujudkan Produksi Tambang yang berkelanjutan dengan menjaga kestabilan lereng*. Jakarta: PT Gramedia.
- Grup Geologi Tambang Grasberg Dan Geoteknik PTFI. 2012. *Geologi dan Geoteknik Tambang Terbuka Grasberg Seri I*. Jakarta: Aksara Buasna
- Hirawan, Febri. 2014. *Rekayasa Geoteknik*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan UNISBA.
- Hoek, E. and Bray, J.W., 1981. *Rock Slope Engineering, The Institution of Mining and Metallurgy, Third Edition*. USA: Spon And Press
- Karyono, 2004. *Diklat Perencanaan Tambang Terbuka*. Bandung: Jurusan Pertambangan, Universitas Islam Bandung.
- Klichie, Charles. 1999. *Rock Slope Stability, The Society For Mining and Metallurgy*. London
- Joseph E. Bowles. 1989. *Foundation Analysis and Design*. USA: Civil Engineering Series.
- Mahler, Sabirin. 2008. *Proses Penambangan Tembaga & Emas Mulai Hulu hingga Hilir*, Jakarta: PT Gramedia.
- Potts, David M. 1999. *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Theory*. London: Thomas Thelford, 1 Heron Quarry
- Sengara, I.W. 2008. *Slope stability Analysis*. Bandung: Lab. Geoteknik-Pusat Rekayasa Industri, Institut Teknologi Bandung.
- Wylie, Duncan dan Mah, Cristhoper. 2005. *Rock Slope Engineering Civil and Mining*. The Institution of Mining and Metallurgy, Fourth Edition. USA: Spon And Press.