

Probabilistik Kelongsoran Lereng Tambang Terbuka Grasberg

PT Freeport Indonesia

(Probabilistic Of Slope Failure Grasberg Open Pit Mining PT Freeport Indonesia)

Iswandaru^{1,2}, Rully Nurhasan R.² Made Astawa Rai¹, Ridho K. Wattimena¹

¹ Program Studi Magister Rekayasa Pertambangan, Institut Teknologi Bandung

² Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Islam Bandung

Abstrak

The stability of a slope in mining activities is highly influenced by geology, especially the nature of rocks and geological structures. Slope stability analysis will be faced with several problems in the uncertainty of rock properties and rock mass. Slope stability analysis using probabilistic methods offers a more systematic way of treating conditions of uncertainty and provides other alternatives to the value factor approach to security regarding information on the probability of a slope failure. Grasberg Open Mine rock type classification based on geotechnical parameters or Geotechnical Rock Code (GTRCK) classifies rocks based on rock type, rock mechanical properties, hydrothermal alteration type, clay content and Rock Quality Designation (RQD) to 46 types of GTRCK. The GTRCK type which has a low rock mass strength value is a change in intrusive rock minerals and a low RQD value such as a lot of clay material is exposed in the Northeast and Southwest of the Grasberg Open Pit Mine. The overall slope probabilistic modeling of the Grasberg mine uses a cross section of 220° (northwest) with the effect of a 0.02g seismic factor which is the maximum criterion according to the probability of slope failure received with the average FK 1.13 and PK 0%.

Keywords: Slope stability analysis, rock type classification, probability of slope failure

1. Pendahuluan

Kestabilan dari suatu lereng pada kegiatan penambangan dipengaruhi oleh kondisi geologi daerah setempat, bentuk keseluruhan lereng pada lokasi tersebut, kondisi air tanah setempat, faktor luar seperti getaran akibat peledakan ataupun alat mekanis yang beroperasi dan juga dari teknik penggalian yang digunakan dalam pembuatan lereng. Struktur geologi pada analisa kestabilan lereng penambangan adalah bidang-bidang lemah dalam hal ini bidang ketidakselarasan (*discontinuity*) seperti kekar, patahan dan bidang-bidang perlapisan. Struktur geologi merupakan hal yang penting di dalam analisa kemantapan lereng karena merupakan bidang lemah di dalam suatu masa batuan dan dapat menurunkan atau memperkecil kestabilan lereng.

Faktor yang sangat berperan dalam analisa kestabilan lereng terdiri dari sifat fisik dan sifat mekanik dari batuan. Sifat fisik batuan yang digunakan dalam menganalisa kemantapan lereng adalah bobot isi (γ), sedangkan sifat mekanik adalah kuat geser batuan yang dinyatakan dengan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Kekuatan geser batuan ini yang berfungsi sebagai gaya untuk melawan atau menahan gaya penyebab kelongsoran. Sifat alamiah batuan di alam yang heterogen, anisotrop dan diskontinu membuat batuan memiliki nilai atau sifat yang berbeda pada setiap titik sehingga menimbulkan ketidakpastian nilai pada sifat batuan maupun massa batuan

Probabilitas Kelongsoran (PK) adalah suatu pendekatan yang mempertimbangkan seluruh variasi yang ada pada parameter masukan yang menghasilkan nilai Faktor Keamanan (FK) tertentu. Hal ini didasarkan bahwa nilai seluruh parameter masukan acak tertentu memiliki peluang yang sama dalam menghasilkan FK tertentu dalam akibat adanya ketidakpastian dari seluruh parameter masukan.

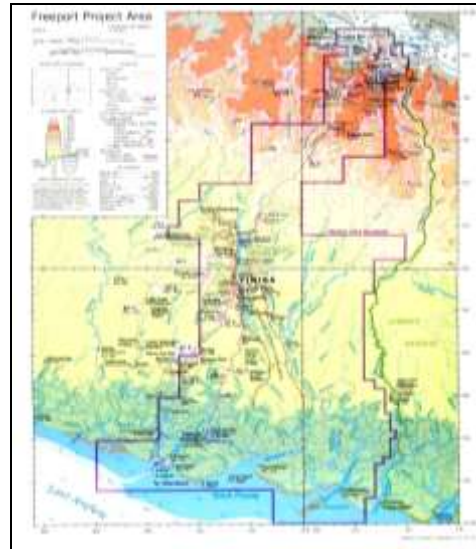
* Korespondensi Penulis : (Iswandaru)
Prodi Teknik Pertambangan UNISBA
E-mail : iswandaru230390@gmail.com
Hp : 082217172239

Tabel 1. Kriteria PK Pada Lereng Tambang (Stacey, 2009)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK _{min}	PK _{maks}
Tunggal	Rendah-Tinggi	1.1	25-50%
Multi Jenjang	Rendah	1.15-1.2	25%
	Sedang	1.2	20%
	Tinggi	1.2-1.3	10%
Keseluruhan	Rendah	1.2-1.3	15-20%
	Sedang	1.3	5-10%
	Tinggi	1.5	5%

Lokasi Penelitian

Lokasi PT Freeport Indonesia terletak di pegunungan Jayawijaya, Kecamatan Mimika Timur, Kabupaten Mimika, Propinsi Papua, berada pada posisi geografis 04° 06' - 04° 012' Lintang Selatan dan 137° 06' – 137° 12' Bujur Timur. Kegiatan operasional PT. FI terbentang dari pelabuhan Amamapare sampai ke lokasi penambangan bijih di *Grasberg*, yang panjangnya lebih kurang 125 km. Lokasi PT Freeport Indonesia dapat dicapai melalui laut dan udara. Lokasi penelitian dilakukan di tambang terbuka Grasberg dengan ketinggian berada pada level 3200 meter sampai 4200 meter diatas permukaan air laut. Curah hujan di daerah penambangan yang dipantau dari stasiun GBT (Gunung Bijih Timur) berkisar antara 16 – 81,6 mm/bulan dan hari hujan berkisar antara 9 – 31 hari hujan/bulan.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

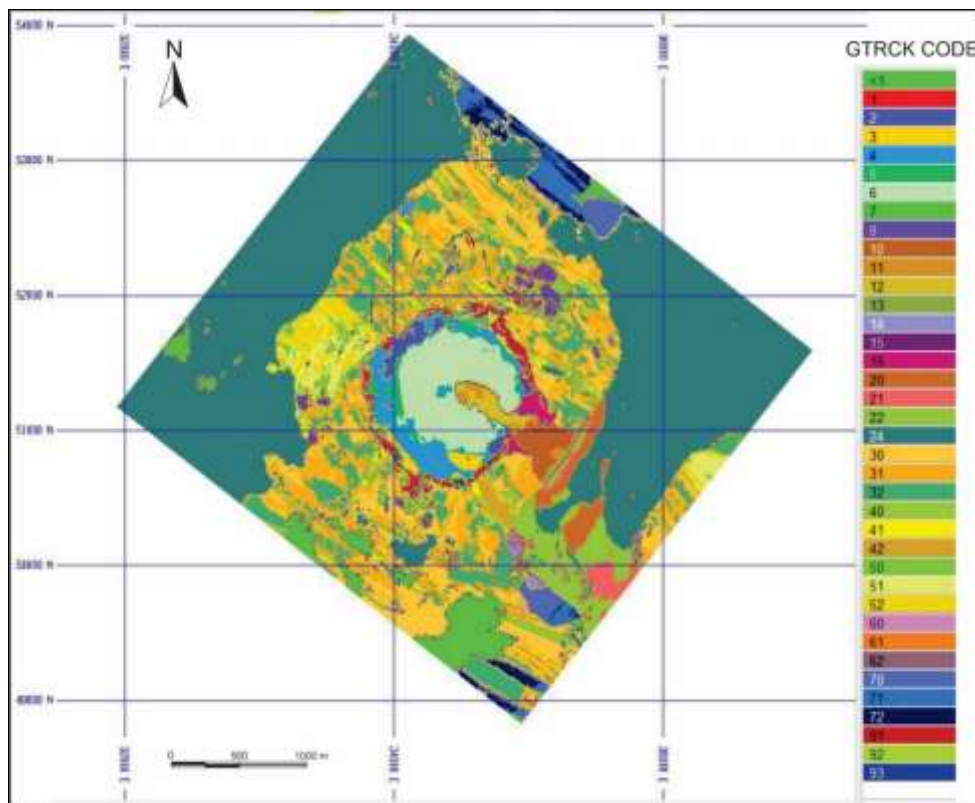
2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengumpulan data dari berbagai departemen yang terkait dan menunjang penelitian, pengolahan data, dan pemodelan lereng keseluruhan di area yang memiliki resiko kelongsoran yang paling tinggi. Pengumpulan data dan pengolahan data dilakukan dengan menganalisis geologi dan kekuatan batuan yang di area tambang berupa hasil pengujian laboratorium dan kondisi bidang lemah serta faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas lereng. Penentuan posisi penampang geoteknik yang digunakan berdasarkan parameter tersebut yang memiliki potensi kelongsoran yang paing besar.

3. Hasil dan Pembahasan

Klasifikasi Massa Batuan

Tambang Terbuka Grasberg terdapat berbagai macam batuan dengan rentang kekuatan yang lebar dan kondisi geologi yang kompleks. Klasifikasi tipe batuan berdasarkan parameter geoteknik yang dibuat untuk Tambang Terbuka Grasberg mencapai 46 jenis. Klasifikasi tipe batuan berdasarkan parameter geoteknik disebut *Geotechnical Rock Code* (GTRCK). Model GTRCK mengelompokkan tipe batuan berdasarkan jenis batuan (Batuan Beku dan Batuan Sedimen), sifat mekanika batuan, tipe ubahan hidrotermal, kandungan lempung dan *Rock Quality Designation* (RQD) (Gambar 2).



Gambar 2. Klasifikasi Tipe Batuan Berdasarkan Parameter Geoteknik *Geotechnical Rock Code* (GTRCK) yang Tersingkap (Maret 2015) (*Surface Mine Geotechnic Dept. PTFI, 2016*)

Kekuatan Massa Batuan

Massa batuan merupakan volume batuan yang terdiri dari material batuan berupa mineral, tekstur dan komposisi dan juga terdiri dari bidang-bidang diskontinu, membentuk suatu material dan saling berhubungan dengan semua elemen sebagai suatu kesatuan. Kekuatan massa batuan sangat dipengaruhi oleh frekuensi bidang-bidang diskontinu yang terbentuk, oleh sebab itu massa batuan akan mempunyai kekuatan yang lebih kecil bila dibandingkan dengan batuan utuh. Menurut Hoek & Bray (1981) massa batuan adalah batuan insitu yang

dijadikan diskontinu oleh sistem struktur seperti kekar, sesar dan bidang perlapisan.

Penentuan nilai kekuatan massa batuan tambang terbuka Grasberg didapatkan dari CNI (2009). CNI membagi menjadi 25 kekuatan massa batuan yang terdiri dari kohesi dan sudut gesek dalam, kuat tarik, kohesi *joint*, *modulus young*, *poisson ratio*, *density*, dan *Geotechnical Rock Type* (GTRCK) (Tabel 2). Nilai kohesi dan sudut gesek dalam mempunyai nilai minimum dan maksimum dari setiap kekuatan massa batuan yang ditandai dengan nilai 1 dan 2.

Muka Air Tanah

Tambang Terbuka Grasberg memiliki curah hujan yang sangat tinggi, yakni mencapai 4000mm/tahun dengan area tangkapan sebesar 14.700.000 m². Curah hujan tersebut telah menghasilkan debit hujan sebesar 25.500

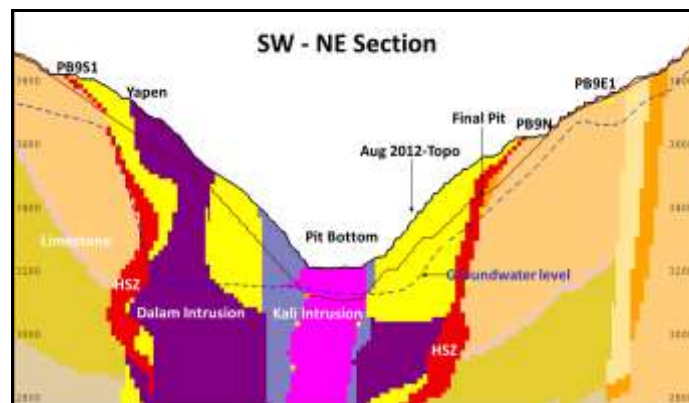
galon/menit (gpm). Rata-rata koefisien limpasan adalah 55% dari debit hujan atau sekitar 13.900 gpm sedangkan sisanya diperkirakan masuk melalui celah atau struktur bidang lemah mengisi muka air tanah (*Surface Mine Hydrogeology Dept. PTFI, 2016*).

Tabel 2. Kekuatan Massa Batuan Tambang Terbuka Grasberg (*Rock Mass Strengths, CNI 2009*)

Rock Type	Rock Mass - Phi 1 degrees	Rock Mass - Cohesion 1 MPa	Rock Mass - Phi 2 degrees	Rock Mass - Cohesion 2 MPa	Rock Mass Tension MPa	Joint Phi 1 degrees	Joint Cohesion 1 MPa	Young's Mod MPa	Poisson's Ratio v	Density MN/m ³	GTRCK type	Material Type
Type 1 - 4	32.9	0.137	25.3	0.446	0.074	26.3	0.100	2275	0.31	0.024	GTRCK 1 - 4	Dalam Fine, Dalam Coarse
T6 w/clay	31.0	1.973	26.2	3.182	0.631	21.7	0.049	20822	0.33	0.027	GTRCK 6	Hard Zone
T6	35.5	1.975	30.4	3.323	0.694	29.7	0.059	20822	0.30	0.027	GTRCK 6	Hard Zone
MGI	39.9	1.099	34.2	1.680	0.396	29.5	0.059	17099	0.26	0.027	-	Stockwork
Banded Clay	24.7	0.050	-	-	-	-	-	3447	0.37	0.028	GTRCK 8 & 23	Sediments/Limestone
HSZ-91	19.4	0.050	-	-	-	-	-	689	0.40	0.023	GTRCK 91	HSZ
HSZ-92	25.4	0.050	-	-	-	-	-	2482	0.36	0.026	GTRCK 92	HSZ
HSZ-93	38.0	2.870	32.1	3.973	1.149	32.4	0.056	39714	0.28	0.034	GTRCK 93	HSZ
Kali - 5%	28.2	0.485	22.5	1.047	0.145	21.1	0.070	10618	0.35	0.027	GTRCK 10	Kali
Kali - 25%	33.8	0.795	29.3	1.338	0.268	26.0	0.057	13790	0.31	0.027	GTRCK 11	Kali
Kali - 75%	41.0	2.864	38.0	3.556	1.132	26.0	0.057	26338	0.26	0.027	GTRCK 12	Kali
Karume	39.2	3.363	36.7	3.924	1.418	26.0	0.057	26338	0.27	0.027	GTRCK 14	-
Tk - 20%	35.7	0.449	30.0	1.127	0.170	31.5	0.038	14272	0.29	0.027	GTRCK 30	Sediments/Limestone
Tk - 50%	37.8	0.963	33.0	1.675	0.383	31.5	0.038	21098	0.28	0.027	GTRCK 31	Sediments/Limestone
Tk - 80%	41.0	2.085	37.0	3.054	0.890	31.5	0.038	31095	0.26	0.027	GTRCK 33	Sediments/Limestone
Broken Tk - 20	23.1	0.498	15.2	1.320	0.147	31.5	0.038	14272	0.38	0.027	-	Sediments/Limestone
Broken Tk - 50	27.7	1.007	20.9	1.870	0.324	31.5	0.038	21098	0.35	0.027	GTRCK 32, 42, 52	Sediments/Limestone
Broken Tk - 80	34.2	2.117	28.8	3.322	0.778	31.5	0.038	31095	0.30	0.027	-	Sediments/Limestone
Sirga	37.0	0.722	31.1	1.045	0.463	22.0	0.039	13445	0.28	0.026	GTRCK 60 - 63	Sediments/Limestone
Non-Tk Sed	46.8	3.247	44.4	3.747	1.401	32.1	0.078	40886	0.21	0.027	GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone
CST	38.3	0.200	-	-	-	-	-	483	0.30	0.017	GTRCK 24	Dumps + Glacial Till
OBS	38.3	0.200	-	-	-	-	-	483	0.30	0.017	GTRCK 25	Dumps + Glacial Till
Faunai/Waripi	38.1	2.197	32.1	3.627	0.821	32.1	0.078	31233	0.28	0.031	GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone
EESD Diorite	34.7	2.025	28.8	3.420	0.543	26.7	0.053	21581	0.30	0.027	-	-
Faults	38.3	0.200	-	-	-	-	-	483	0.30	0.027	-	-

Pengelolaan hidrogeologi di Tambang Terbuka Grasberg memiliki tantangan tersendiri salah satunya mengenai pengukuran muka air tanah. Pengukuran muka air tanah dilakukan secara berkala untuk mendapatkan gambaran

kedalaman dan bentuk aliran muka air tanah. Hasil pengukuran dan pemodelan yang didapatkan dari beberapa tempat yang dilakukan oleh *Surface Mine Hydrogeology Dept.* didapatkan bentuk penampang muka air tanah secara regional pada radian 210° pada gambar 3.



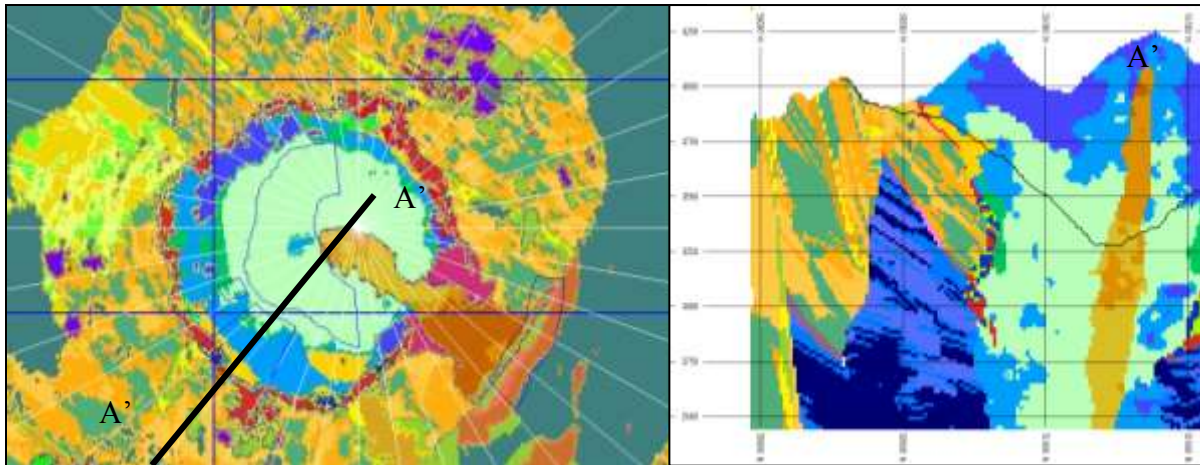
Gambar 3. Penampang Muka Airtanah Regional Radian 210° Berada Dibawah Topografi Tambang Terbuka Grasberg (*Surface Mine Hydrology Dept. PTFI, 2016*)

Faktor Kegempaan

Indonesia menempati zona tektonik yang sangat aktif karena tiga lempeng besar dunia dan sembilan lempeng kecil lainnya saling bertemu di wilayah Indonesia dan membentuk jalur-jalur pertemuan lempeng yang kompleks. Lokasi penelitian berdasarkan SNI 03-1726-2002 terletak pada percepatan gempa 0.15 - 0.2g. Menurut Peta Zonasi Gempa Indonesia yang dikeluarkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2010 dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun berada pada percepatan >0.6 g.

Pemodelan Probabilistik

Posisi penampang geoteknik sangat menentukan analisis yang dapat mewakili atau menggambarkan kondisi kestabilan lereng secara keseluruhan. Berdasarkan informasi GTRCK, Analisis Kinematik, kekuatan massa batuan, posisi penampang yang akan dilakukan untuk analisis kestabilan lereng berada pada radian 220°. Radian 220° dianggap dapat mewakili model secara keseluruhan tambang terbuka berdasarkan arah umum struktur dan Jenis GTRCK (Gambar 4).



Gambar 4. Garis Penampang dan Penampang Lereng Keseluruhan pada *Geotechnical Rock Code* (GTRCK) Radian 220° (*Surface Mine Geotechnic Dept. PTFI, 2016*)

Perhitungan probabilitas kelongsoran dengan *Point Estimate Method* (PEM) menggunakan sistem pembobotan, yaitu dengan input parameter statistik nilai rata-rata dan standar deviasi ($\mu \pm \sigma$) untuk setiap variabel acaknya. Input perhitungan pada *Point Estimate Method* tidak memerlukan proses karakterisasi variabel acak yang lebih lanjut untuk mengetahui

fungsi distribusi probabilitas seperti halnya pada metode simulasi *Monte Carlo*.

Input variabel acak bebas didapatkan dari data kekuatan massa batuan (CNI,2009) pada sub bab 4.3. Berikut ini adalah input variabel acak bebas yang digunakan pada perhitungan FK dan PK untuk masing-masing batuan (Tabel 3).

Tabel 3. Input Variabel Acak Bebas Parameter Batuan GTRCK

Rock Type	GTRCK type	Material Type	Rockmass Cohesion (MPa)	
			Rata-Rata	SD
Type 1 - 4	GTRCK 1 - 4	Dalam Fine, Dalam Coarse	0.292	0.154
T6 w/clay	GTRCK 6	Hard Zone	2.577	0.605
T6	GTRCK 6	Hard Zone	2.649	0.674
MGI	-	Stockwork	1.389	0.290
Banded Clay	GTRCK 8 & 23	Sediments/Limestone		
HSZ-91	GTRCK 91	HSZ		
HSZ-92	GTRCK 92	HSZ		
HSZ-93	GTRCK 93	HSZ	3.422	0.551
Kali - 5%	GTRCK 10	Kali	0.766	0.281
Kali - 25%	GTRCK 11	Kali	1.067	0.272
Kali - 75%	GTRCK 12	Kali	3.210	0.346
Karume	GTRCK 14	-	3.644	0.281
Tk - 20%	GTRCK 30	Sediments/Limestone	0.788	0.339
Tk - 50%	GTRCK 31	Sediments/Limestone	1.319	0.356
Tk - 80%	GTRCK 33	Sediments/Limestone	2.570	0.485
Broken Tk - 20	-	Sediments/Limestone	0.909	0.411
Broken Tk - 50	GTRCK 32, 42, 52	Sediments/Limestone	1.438	0.432
Broken Tk - 80	-	Sediments/Limestone	2.719	0.603
Sirga	GTRCK 60 - 63	Sediments/Limestone	0.883	0.161
Non-Tk Sed	GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone	3.497	0.250
CST	GTRCK 24	Dumps + Glacial Till		
OBS	GTRCK 25	Dumps + Glacial Till		
Faumai/Waripi	GTRCK 70 - 73	Sediments/Limestone	2.912	0.715
EESS Diorite	-	-	2.722	0.697
Faults	-	-		

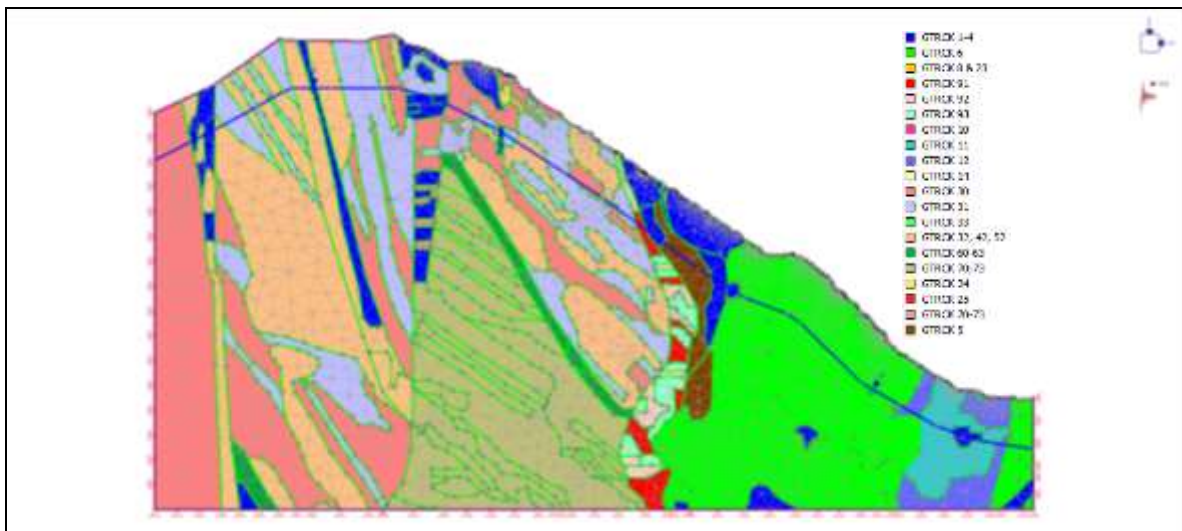
Sumber : (Rock Mass Strengths, CNI 2009)

Nilai kohesi kekuatan massa batuan digunakan sebagai variabel acak perhitungan probabilitas kelongsoran dengan PEM. Kohesi merupakan variabel yang sangat penting dalam suatu faktor keamanan lereng secara keseluruhan dan nilai yang berpengaruh paling besar terhadap perubahan kondisi batuan. Keseluruhan dalam pemodelan radian 220 terdapat 14 jenis GTRCK.

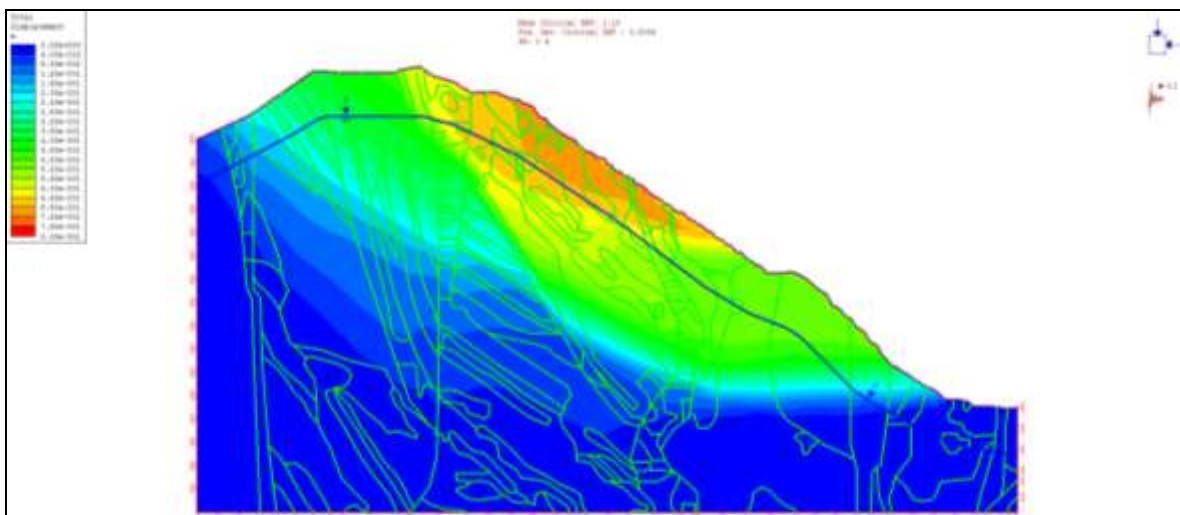
Variabel acak hanya digunakan pada GTRCK yang relatif berada dekat dengan permukaan dan tersingkap dengan alasan pertimbangan historikal longsor yang terjadi dekat permukaan, faktor cuaca yang ekstrim dengan intensitas curah hujan yang tinggi, dan faktor gempa akibat peledakan, selain itu dimensi

penampang lereng keseluruhan Grasberg pada radian 220° memiliki kedalaman ± 764 m, sehingga membutuhkan komputasi dan perhitungan yang lebih kompleks jika menggunakan seluruh variabel GTRCK. Terdapat 8 GTRCK yang berada dekat dengan permukaan dan tersingkap, maka terdapat 8 variabel acak bebas yang menghasilkan kombinasi analisis sebanyak (2^8) atau 256 kali.

Pemodelan memperhitungkan pengaruh besaran gempa yang terjadi pada daerah penelitian sesuai peta zonasi gempa Indonesia yang dibuat oleh Menteri Pekerjaan Umum tahun 2010 dengan peningkatan setiap 0.1g pada arah horizontal. Gambar 5 dan 6 menunjukkan model penampang lereng keseluruhan radian 220° .



Gambar 5. Model Penampang Lereng Keseluruhan Radian 220° dengan Faktor Kegempaan 0.2g



Gambar 6. Hasil Pemodelan Lereng Keseluruhan Radian 220° dengan Faktor Kegempaan 0.2g

Pemodelan lereng keseluruhan pada radian 220 dilakukan pada berbagai simulasi kegempaan dalam kondisi kekuatan massa batuan puncak. Hasil pemodelan simulasi hingga faktor kegempaan 0.2g didapatkan nilai

FK > 1 dan nilai PK 0% sedangkan faktor kegempaan 0.3g, hasil pemodelan menunjukkan nilai FK 0.95 dengan PK 100% (Tabel 4). Berdasarkan kriteria PK pada lereng tambang (Stacey, 2009) (untuk lereng

keseluruhan, FK minimum 1.2-1.3 dengan PK maksimum 15 - 20%, maka pemodelan dengan faktor kegempaan 0.2g merupakan batas model yang bisa diterima. Klasifikasi tipe batuan Tambang Terbuka Grasberg berdasarkan parameter geoteknik atau *Geotechnical Rock Code* (GTRCK)

mengelompokkan batuan berdasarkan jenis batuan (Batuan Beku dan Batuan Sedimen), sifat mekanika batuan, tipe ubahan hidrotermal, kandungan lempung dan *Rock Quality Designation* (RQD) menjadi 46 jenis GTRCK.

Tabel 4. FK dan PK Lereng Keseluruhan Radian 220°

Penampang	Kondisi Massa Batuan	Faktor Gempa	FK	Standar Deviasi FK	PK
Radian 220	Peak	0	1.63	0.0039	0%
		0.1g	1.35	0.0034	0%
		0.2g	1.13	0.0086	0%
		0.3g	0.95	4.34E-15	100%
	Residu	0	0.62	-	-

4. KESIMPULAN

Tipe *Geotechnical Rock Code* (GTRCK) yang mempunyai nilai kekuatan massa batuan yang rendah umumnya merupakan hasil ubahan mineral batuan intrusi yang bersifat mengikat air seperti material lempung dan memiliki RQD yang rendah banyak dijumpai di bagian Timur Laut dan Barat Daya Tambang Terbuka Grasberg. Pemodelan probabilistik lereng keseluruhan tambang Grasberg menggunakan penampang radian 220° dengan pengaruh faktor kegempaan 0.02g merupakan kriteria maksimum yang sesuai probabilitas kelongsoran lereng tambang yang diterima dengan rata-rata FK 1.13 dan PK 0%.

DAFTAR PUSTAKA

- CNI, 2009, Rock Mass Strengths Grasberg Mine, Freeport.
- Griffiths D.V., Fenton G.A., 2003, Probabilistic slope stability analysis by Finite Elements.
- Griffiths D.V., Fenton G.A., Denavit M.D., 2007, Traditional and Advanced probabilistic slope stability analysis.
- Hoek E., Factor of Safety and Probability of Failure, Chapter 8 - Rock Engineering.
- Hoek, E. and Bray, J.W. (1981): *Rock Slope Engineering*, Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1988): *The Hoek-Brown Failure Criterion – a 1988 Update*, Proceedings of the 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto.
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1997): *Practical Estimates of Rock Mass Strength*, International Journal Rock Mechanic & Mining Science and Geomechanic Abstract. 34(8) p. 1165 – 1187.
- Masagus A.A. et.al, 2010, Penerapan Pendekatan Probabilitas Pada Analisis Kemantapan Lereng, TPT XIX PERHAPI 2010, Balikpapan.
- Masagus A.Azizi, Suseno Kramadibrata, Ridho K.Wattimena, Irwandy Arif, “Aplikasi Pendekatan Probabilistik Dalam Analisis Kestabilan Lereng Tunggal Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas”, dipresentasikan pada Seminar Nasional Statististik 2011 yang diselenggarakan oleh Program Studi Statistika, Fakultas MIPA UNDIP, 21 Mei 2011.
- Stacey, 2009, Kriteria Faktor Keamanan dan Probabilitas pada Lereng Tambang
- Steffen, O.K.H. et.al, 2008, A risk evaluation approach for pit slope design.
- Surface Mine Geotechnic Dept. PTFI, 2016, Klasifikasi Tipe Batuan Berdasarkan Parameter Geoteknik *Geotechnical Rock Code* (GTRCK).
- Surface Mine Hydrogeology Dept. PTFI, Penampang Muka Airtanah Regional Tambang Terbuka Grasberg.
- Terbrugge P.J.et.al., 2006, A risk consequence approach to open pit slope design.
- Widijanto, E. 2013, Transisi dari Tambang Terbuka ke Tambang Bawah Tanah, Buku Geologi dan Geoteknik Tambang Terbuka Grasberg, PT Freeport Indonesia.