
PENGARUH BIDANG DISKONTINU TERHADAP KESTABILAN LERENG TAMBANG – STUDI KASUS LERENG PB9S4 TAMBANG TERBUKA GRASBERG

Habibie Anwar^{1*}, Made Astawa Rai², Ridho Kresna Wattimena²

1. Teknik Pertambangan Universitas Muslim Indonesia

2. Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung

Email: hbbnwr@umi.ac.id

SARI

Papua merupakan salah satu tambang tembaga dan emas terbesar di Indonesia yang dioperasikan oleh PT. Freeport Indonesia. Sejak dioperasikan tambang terbuka Grasberg, Seringkali terjadi beberapa kali kasus longsoran yang diakibatkan oleh struktur geologi. Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya beberapa tipe longsoran, faktor keamanan kestabilan lereng dan *critical strength reduction factor*. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu struktur geologi berupa kekar berdasarkan hasil pengamatan dan pemetaan geologi di lapangan, sifat fisik dan sifat mekanik hasil uji laboratorium di perusahaan. Lereng PB9S4 terletak di bagian barat daya (*southwest*) yang dikelompokkan menjadi 27 lokasi. Berdasarkan hasil proyeksi stereografis menggunakan perangkat lunak *dips* menunjukkan bahwa terdapat 13 lokasi kemungkinan terjadinya longsoran bidang dan longsoran baji. Hasil analisis kinematik menggunakan analisis longsoran bidang dan baji menunjukkan bahwa faktor keamanan memiliki kondisi aman. Metode elemen hingga dengan simulasi lereng model *joint network Baecher* dengan menggunakan perangkat lunak *Phase2* menunjukkan bahwa hampir semua lereng memiliki kondisi stabil.

Kata kunci : tambang terbuka, geologi struktur, proyeksi stereografis, analisis kinematik

ABSTRACT

Papua is one of the largest copper and gold mines in Indonesia operated by PT. Freeport Indonesia. Since the operationalization of the Grasberg open pit, there have been occasional cases of failure caused by geological structures. This research was conducted to find out the possibility of several types of failure, the safety factor of slope stability and critical strength reduction factor. The data used in this research is a solid geological structure based on observations and geological mapping in the field, physical properties and mechanical properties of laboratory test results in the company. The slopes of PB9S4 are located in the southwest part of which are grouped into 27 locations. Based on the results of stereographic projection using dips software shows that there are 13 possible locations of plane failure and wedge failure. The result of kinematic analysis using plane failure analysis and wedge failure analysis indicate that the safety factor has a safe condition. The finite element method by simulating the slope of Baecher's joint network model using Phase2 software shows that almost all slopes have stable conditions.

Keywords : open pit, structural geology, stereographic projection, kinematic analysis

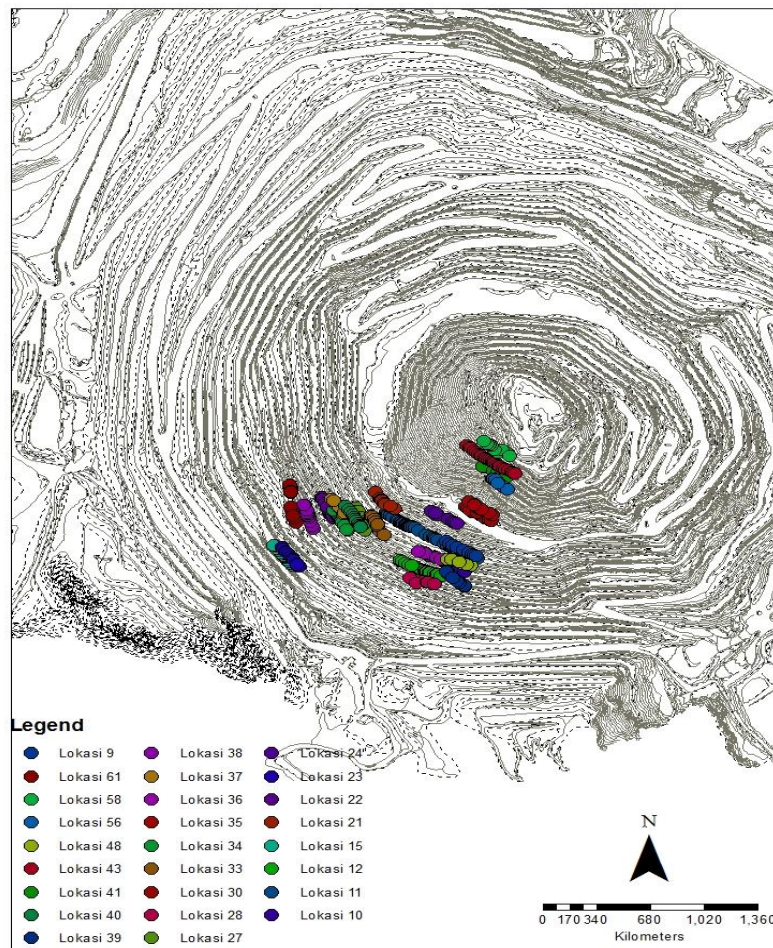
PENDAHULUAN

Struktur geologi sangat mempengaruhi kestabilan lereng pada tambang terbuka Grasberg PT. Freeport Indonesia (PTFI). Struktur geologi terbentuk akibat deformasi atau perubahan bentuk yang terjadi akibat adanya gaya-gaya endogen dan eksogen. Kedua gaya tersebut akan membentuk tegangan-tegangan dari segala arah. Tegangan-tegangan ini menjadi parameter yang dapat menghasilkan deformasi. Proses terbentuknya deformasi terjadi pada zona di bidang diskontinu, dimana pada zona tersebut gaya-gaya terdistribusi. Adanya bidang diskontinu pada batuan akan mempengaruhi aktifitas penambangan, diantaranya berpengaruh terhadap kekuatan batuan. Semakin kecil kekuatan batuan maka semakin banyak bidang diskontinu yang memotong massa batuan. Bidang diskontinu yang ada pada massa batuan tersebut dapat menyebabkan terjadinya longsor. Contohnya longsor

bidang, longsor baji, longsor guling dan longsor busur.

Dari semua jenis bidang diskontinu yang ada, kekar atau *joint* yang paling sering muncul dan selalu menjadi bahan pertimbangan ahli geoteknik karena menyangkut masalah keselamatan pekerja dan infrastruktur operasional penambangan.

Pada penelitian ini, lokasi pengambilan data struktur terletak di lereng *Southwest* (gambar 1) dengan arah kemiringan tambang yaitu 20° - 70° . Lereng tersebut memiliki banyak bidang diskontinu yang kemungkinan akan menyebabkan terjadinya longsor. Data pengamatan dan pemetaan geologi di lereng *Southwest* PB9S4 dikelompokkan menjadi 27 lokasi.



Gbr 1. Lokasi Pengambilan Data Struktur di Lereng *Southwest* (SW) PB9S4

PROYEKSI STREOGRAFIS

Utama (2014) menjelaskan bahwa struktur geologi yang diproyeksikan secara stereografis dapat digunakan untuk mengetahui tipe dan arah longsor. Proyeksi stereografis menyajikan orientasi data 3 dimensi menjadi data 2 dimensi yang kemudian dianalisis.

Dalam penelitian ini, proyeksi stereografis menggunakan bantuan perangkat lunak *Dips version 5.103*. *Dips* digunakan untuk mengidentifikasi jenis longoran yang mungkin terjadi pada suatu lereng. Data yang digunakan untuk proyeksi stereografis adalah data jurus (*strike*) dan kemiringan (*dip*) bidang diskontinu dan lereng.

Tabel 1. Hasil Proyeksi Stereografis kemungkinan terjadinya Longoran Baji

No	Lokasi Analisis kinematik	Joint Set	Bidang Diskontinu 1		Bidang Diskontinu 2		Lereng	
			Strike	Dip	Strike	Dip	Strike	Dip
1	10	JS2, JS4	28	73	261	61	298	55
2	21	JS1, JS2	21	63	230	85	318	55
3	22	JS2, JS3	276	49	349	36	330	55
4	36	JS1, JS4	346	69	268	49	298	55
5	37	JS1, JS3	72	59	303	54	330	55
6	39	JS1, JS2	67	76	273	76	312	55
7	40	JS3, JS6	6	57	238	55	330	55

Tabel 2. Hasil Proyeksi Stereografis kemungkinan terjadinya Longoran Bidang

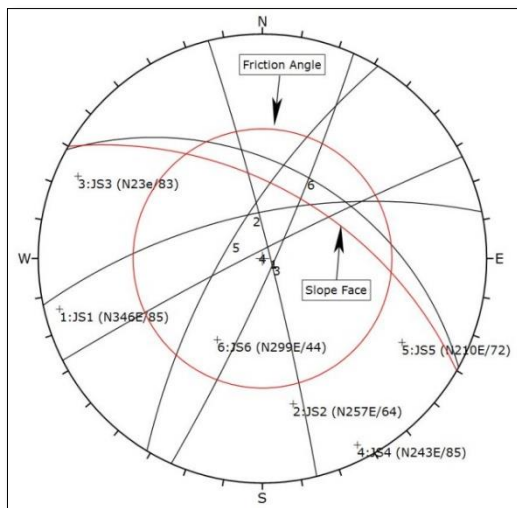
No.	Lokasi Analisis kinematik	Joint Set	Bidang Diskontinu (ψ_p)		Lereng	
			Strike	Dip	Strike	Dip
1	11	JS6	299	44	300	55
2	36	JS2	334	43	298	55
3	40	JS1	135	31	330	55
4	43	JS2	298	41	312	55
5	56	JS2	273	48	312	55
6	61	JS2	331	51	350	55

Untuk menentukan potensi kelongsoran pada proyeksi stereografis perlu terlebih dahulu mengetahui syarat-syarat kemungkinan longoran bidang dan baji

Syarat Terjadinya Longoran Bidang :

- a. Jurus (*strike*) bidang luncur mendekati paralel terhadap jurus bidang permukaan lereng (perbedaan maksimum 20°).
- b. Kemiringan bidang luncur (ψ_p) harus lebih kecil daripada kemiringan bidang permukaan lereng (ψ_f).

- c. Kemiringan bidang luncur (ψ_p) lebih besar daripada sudut geser dalam (ϕ).
- d. Terdapat bidang bebas yang merupakan batas lateral dari massa batuan atau tanah yang longsor.



Gbr 2. Contoh Hasil proyeksi Stereografis Longsoran Bidang Lokasi 11

Tabel 3. Hasil Perhitungan Longsoran Bidang

Lokasi	Dip (ψ)	A (m)	W	FK
11	44	138,87	42125.44	1,47
61	51	98,82	8724,8	2,55
36	43	187,55	82196,39	2,47
40	31	796,98	2192865,42	1,79
56	48	879,57	1154733,742	1,54
43	41	544,737	776177	1,39

Tabel 4. Hasil Perhitungan Longsoran Baji

Lokasi	Diskontinu		A	B	X	Y	FK
	ψ_a	ψ_b					
10	73	61	0,61	0,8	9,46	5,43	2,33
36	69	49	0,2	0,9	7,03	5,29	1,83
21	63	85	1,55	1,2	6,8	13,49	2,45
22	49	36	0,41	1,2	15,14	8,48	2,03
39	76	76	1,78	1,8	21,31	15,5	3,09
40	59	59	1,07	1,1	10,19	11,76	2,03
37	59	54	0,512	0,8	31,714	29,747	2,74

Syarat Terjadinya Longsoran Baji :

- Kemiringan lereng lebih besar daripada kemiringan garis potong kedua bidang lemah ($\psi_{fi} > \psi_j$).
- Sudut garis potong kedua bidang lemah lebih besar daripada sudut geser dalamnya ($\psi_{fi} > \phi$)

Dari hasil proyeksi stereografis keseluruhan lereng PB9S4, maka dapat disimpulkan bahwa longsoran yang dapat

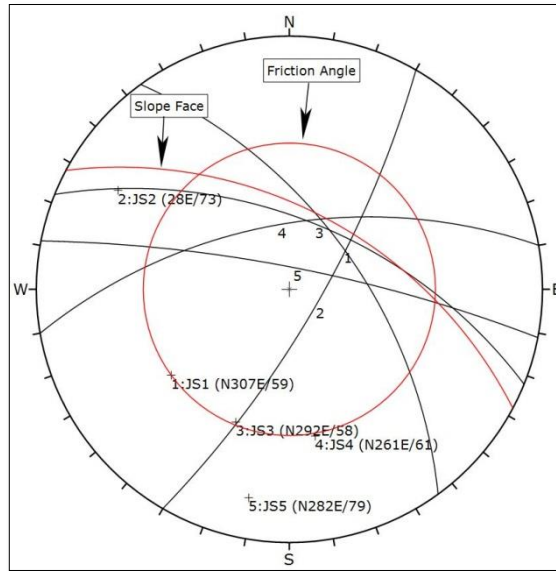
terjadi yaitu longsoran baji (tabel 1) dan longsoran bidang (tabel 2)

ANALISIS KINEMATIK

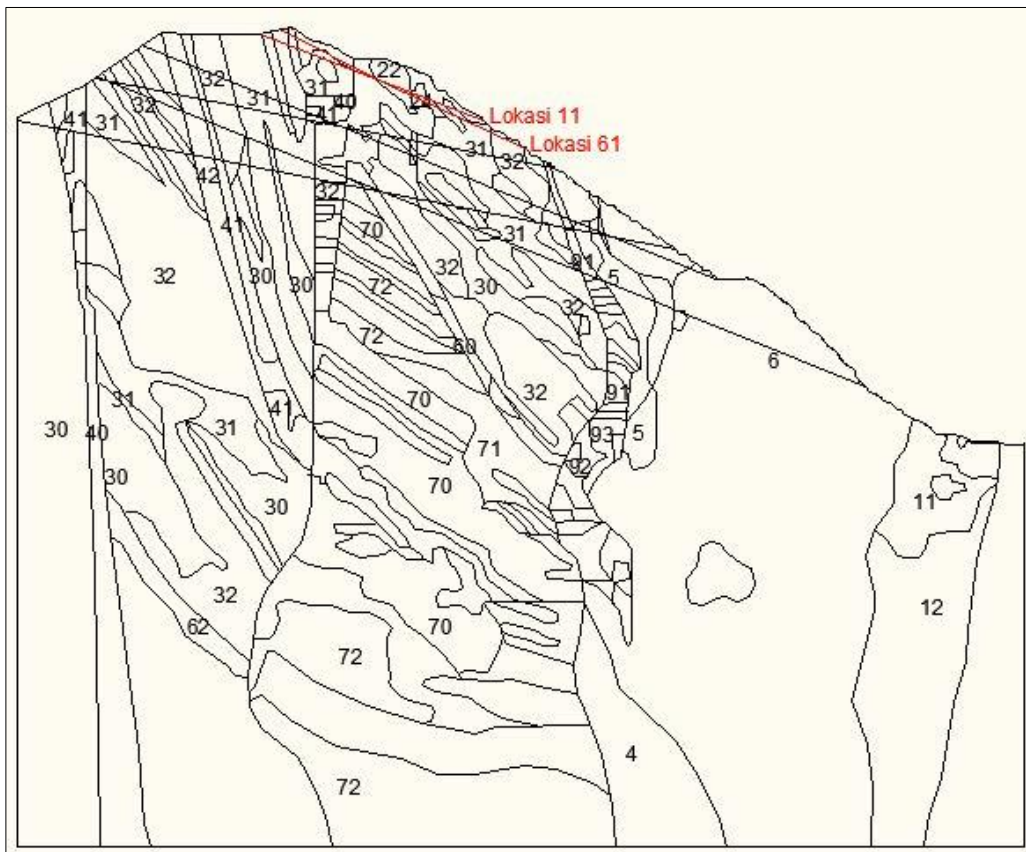
Proyeksi stereografis merupakan langkah awal untuk menganalisis kinematik untuk kestabilan lereng, selanjutnya untuk menganalisis kestabilan lereng di daerah penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu analisis kinematik

untuk longsoran bidang dan analisis kinematik untuk longsoran baji

Pada penelitian ini untuk menganalisis longsoran bidang dan longsoran baji menggunakan klasifikasi longsoran batuan (Hoek dan Bray, 1981).



Gbr 3. Contoh Hasil proyeksi Stereografis Longsoran Baji Lokasi 10



Gbr 4. Contoh Analisis Longsoran Bidang pada Lokasi 11 dan Lokasi 61

Analisis Longsoran Bidang

Longsoran bidang (gambar 4) merupakan suatu longsoran batuan yang terjadi sepanjang bidang luncur yang mempunyai arah jurus sejajar dengan arah jurus lereng (Hoek dan Bray, 1981). sehingga persamaan menjadi :

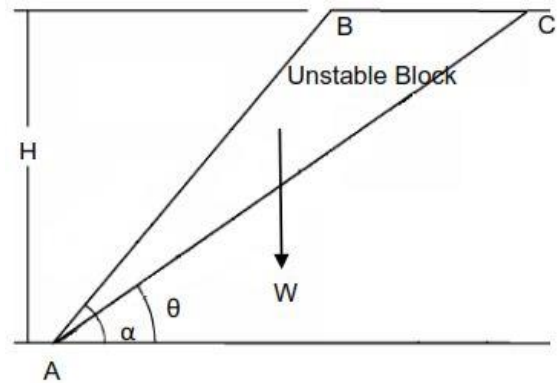
$$FK = \frac{cA + W \cdot \cos \cdot \tan \phi}{W \cdot \sin \psi}$$

Di mana :

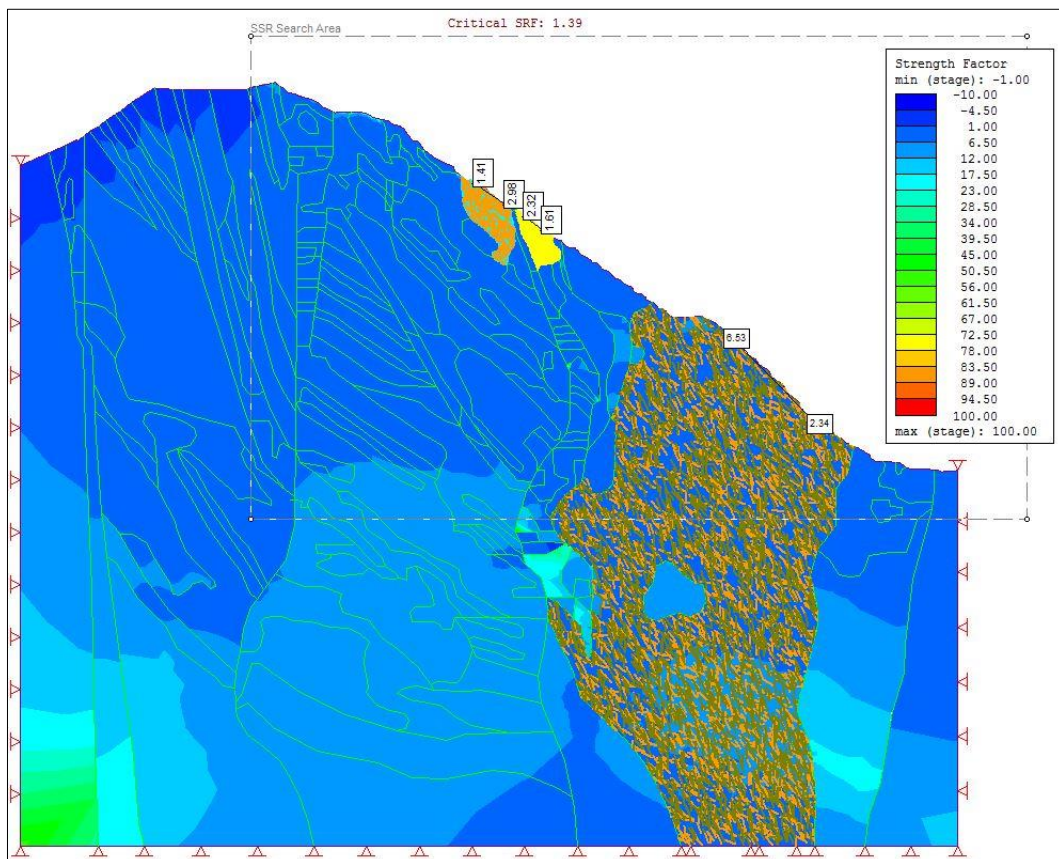
c = kohesi, ϕ = Sudut geser dalam

$$A = \frac{H}{\sin \phi}$$

$$W = \frac{\gamma H^2}{2} (\cot \phi - \cot \alpha)$$



Gbr 5. Geometri Analisis Longsoran Bidang



Gbr 6. Pemodelan Joint Network Baecher Kondisi Strength Factor

Analisis Longsoran Baji

Apabila ketahanan geser bidang gelincir dipengaruhi oleh kohesi dan djumpai pula adanya rembesan air di bidang-bidang lemah tersebut, maka

penentuan faktor keamanan harus mempertimbangkan kedua faktor tersebut. Dengan asumsi bahwa air hanya masuk di sepanjang garis potong kedua bidang lemah dengan muka atas lereng (garis 3 dan 4

pada gambar 5) dan merembes keluar sepanjang garis potong bidang lemah dengan muka lereng (garis 1 dan 2 pada gambar 5) serta baji bersifat impermeable (Hoek dan Bray, 1981), maka persamaan yang digunakan untuk menentukan faktor keamanan adalah :

$$FK = \frac{3}{\gamma H} (C_A X + C_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X \right) \tan \phi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y \right) \tan \phi_B$$

Di mana :

C_A, C_B = Kohesi A dan B

ϕ_A, ϕ_B = Sudut geser dalam A dan B

γ = Bobot isi satuan

γ_w = Bobot isi air

H = Tinggi

$X = \sin \theta_{24} / (\sin \theta_{45} \theta_{2.na})$

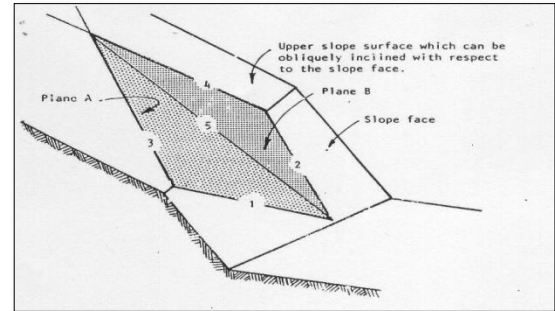
$Y = \sin \theta_{13} / (\sin \theta_{35} \theta_{1.na})$,

$A = (\cos \psi_a - \cos \psi_b \cdot \cos \theta_{na.nb}) / (\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb})$

$$B = (\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na.nb}) / (\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na.nb})$$

ψ_a dan ψ_b = dip A dan B

θ_{24} = sudut-sudut antara bidang lemah



Gbr 7. Longsor Baji menunjukkan Garis Perpotongan dan Bidang

Tabel 5. Parameter Massa Batuan Kestabilan Lereng Lokasi Penelitian

Jenis Batuan	Tipe Massa Batuan	Uji Laboratorium					
		Residu		Max		Min	
		Φ (°)	C (MPa)	Φ (°)	C (MPa)	Φ (°)	C (MPa)
Batuan Beku	GTRCK 1 - 4	29.19	0.172	32.9	0.446	25.3	0.137
Heavy Sulphide	GTRCK 93	45.83	0.091	38.0	3.973	32.1	2.870
Batuan Beku	GTRCK 6	18.9	0.102	31.0	3.182	26.2	1.973
Batuangamping	GTRCK 31	30.59	0.190	37.8	1.675	33	0.963

Tabel 6. Joint Properties Model Joint di Lokasi Penelitian

Tipe Massa Batuan	Uji Laboratorium		Normal Stiffness (MPa/m)	Shear Stiffness (MPa/m)
	C (MPa)	ϕ (°)		
GTRCK 1 - 4	0.1	26.3	100000	10000
GTRCK 6	0.049	21	100000	10000

Pada penelitian analisis longsor bidang dan longsor baji mengasumsikan bobot isi batuan (γ) 27 KN/m³, bobot isi air (γ_w) 10 KN/m³. Dari hasil analisis longsor bidang dan longsor baji dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4

Metode elemen Hingga

Pada analisis pemodelan lereng ini menggunakan pemodelan lereng model joint network Baecher dengan bantuan

perangkat lunak Phase2 yang berbasis metode elemen hingga, yang bertujuan menghasilkan critical strength reduction factor (SRF) sebagai nilai faktor keamanan (FK). Simulasi ini dilakukan dengan mengambil ketinggian (H) 784 m, lebar berm 15 m, dan kemiringan lereng keseluruhan 55° (gambar 7) dengan asumsi lereng dibentuk oleh tipe massa batuan (tabel 5) dan joint properties (tabel 6), sedangkan nilai masukan pada pemodelan

joint model Baecher yang digunakan analisis statistik dengan distribusi normal yaitu nilai rata-rata (*mean*) dan standar deviasi.

Dalam simulasi pemodelan ini, akan digunakan beberapa asumsi, yaitu :

1. Material yang digunakan bersifat plastis
2. Lereng dalam keadaan kering
3. Getaran atau gempa karena faktor external diabaikan
4. Pembebanan hanya dipengaruhi oleh gravitasi

Pada gambar 7 menunjukkan kondisi *strength factor* pada arah sumbu vertikal dan horisontal tertahan (*restrain*). berdasarkan pemodelan *strength factor* yang dilakukan menunjukkan tegangan σ_1 semakin besar terhadap tegangan σ_3 maka batuan semakin berada pada kondisi aman, sedangkan *critical strength reduction factor* (SRF) pada gambar IV.44 sebesar 1.39 pada kondisi stabil.

KESIMPULAN

Hasil perhitungan kestabilan lereng untuk analisis longsoran bidang didapatkan nilai FK 2,55, sedangkan analisis longsoran baji didapatkan FK 3,09 yang berada dalam keadaan stabil.

Analisis pemodelan *joint network Baecher* menghasilkan *critical strength reduction factor* (SRF) sebagai nilai faktor keamanan (FK) sebesar 1.4.

DAFTAR PUSTAKA

- Grup Geologi Tambang Grasberg dan Geoteknik PTFL, "Buku Seri 1 - Geologi dan Geoteknik Tambang Terbuka Grasberg", Divisi Tambang Terbuka Permukaan Grasberg PTFL, Jakarta, 2011
- Hoek, E., dan Bray, JW., "*Rock Slope Engineering*", 3rd Edition, IMM, London, 1981.