

## ANALISIS PENGARUH KEDUDUKAN STRUKTUR TERHADAP POTENSI LONGSORAN MENGUNAKAN PROYEKSI STEREOGRAFIS

<sup>1</sup>Iswandaru, <sup>2</sup>Rully Nurhasan R.

<sup>1,2</sup> Universitas Islam Bandung., Bandung, Indonesia.  
email: <sup>1</sup>iswandaru@unisba.ac.id, <sup>1</sup>rully@unisba.ac.id

**Abstract.** *The stability of open pit slopes is one of the important factors that can guarantee the continuity of production and safety of workers and mining equipment. One effort to obtain a stable slope is to avoid the slope design that triggers the potential for landslides. The type and geometry of avalanches that may occur on the slopes are largely determined by the position of the slope and the geological structure. Analysis using stereographic projections has been used extensively for initial slope stability assessments before proceeding with the calculation of safety factors. Open cone shaped reverse geometry with a planned depth of up to 1 km with a diameter of  $\pm 3$  km. This causes the formation of potential landslides due to the intersection of the face of the slope with the structure of continuity is absolute. The only thing that can be done at the initial stage is analyzing the direction and slope of which slopes have the potential to form landslides. The potential of landslides by dividing the structure of weak field data is adjusted to 36 strike directions and the distribution of measurement areas to 484 domains produces 370 domains with potential landslides.*

**Kata Kunci:** *Stability of Open Pit, mine slopes, stereographical projections*

**Abstrak.** *Kestabilan lereng tambang terbuka merupakan salah satu faktor penting yang mampu menjamin kelangsungan produksi dan keselamatan pekerja dan peralatan tambang. Salah satu upaya untuk memperoleh lereng yang stabil adalah dengan menghindari desain lereng yang memicu potensi longsor. Jenis dan geometri longsor yang mungkin terjadi pada lereng sangat ditentukan oleh kedudukan lereng dan struktur geologi. Analisis menggunakan proyeksi stereografi telah digunakan secara luas untuk penilaian awal kestabilan lereng sebelum dilanjutkan dengan perhitungan faktor keamanan. Geometri open pit berbentuk kerucut terbalik dengan rencana kedalaman hingga 1 km dengan diameter  $\pm 3$  km. Hal ini menyebabkan terbentuknya potensi longsor akibat perpotongan muka lereng dengan struktur ketidakmenerusan merupakan sesuatu yang mutlak. Satu-satunya yang bisa dilakukan pada tahap awal ialah menganalisis arah dan kemiringan lereng mana yang berpotensi membentuk longsor. Potensi longsor dengan cara membagi data struktur bidang lemah disesuaikan dengan 36 arah strike dan pembagian wilayah pengukuran menjadi 484 domain dihasilkan 370 domain yang memiliki potensi longsor.*

**Kata Kunci:** *Potensi longsor, lereng tambang, proyeksi setreografis.*

### 1. Pendahuluan

Metode tambang terbuka merupakan metode penambangan yang memungkinkan untuk dilakukannya produksi dalam jumlah yang besar atau massif bagi cadangan berkadar rendah. Seiring dengan bertambah dalamnya

tambang terbuka, memberikan konsekuensi terhadap semakin mahalnya operasi penambangan dan meningkatnya tantangan teknis pengelolaan tambang terbuka tersebut, terutama berkenaan dengan keselamatan dan efisiensi dari sistem pemberaian-pemuatan-pengangkutan material serta kestabilan lereng.

Kestabilan lereng bila ditinjau secara sistematis sangat dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal terdiri atas jenis material, sifat fisik (densitas, porositas), sifat mekanik (kohesi dan sudut gesek dalam), air tanah, dimensi (tinggi dan sudut lereng), dan bidang diskontinu; sementara faktor eksternal terdiri atas getaran peledakan, gempa bumi, beban transportasi, dan curah hujan. 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. Apabila kestabilan dari suatu lereng dalam operasi penambangan meragukan, maka analisa terhadap kestabilannya harus dinilai berdasarkan dari struktur geologi yang terbentuk akibat proses sesar dan kekar.

Posisi lereng (arah dan kemiringannya) terhadap kedudukan ketidakmenerusan sangat menentukan jenis dan bentuk potensi longsoran yang mungkin terjadi. Berbagai sistem klasifikasi massa batuan juga selalu memasukkan parameter ini dalam menentukan rating massa batuan. Ketidakmenerusan bisa berupa kekar, bidang perlapisan, atau patahan. Pada massa batuan yang memiliki paling sedikit dua keluarga (kekar-kekar) yang memiliki kedudukan relatif sama, bentuk longsoran yang paling berpotensi terjadi ialah longsoran baji, tetapi tidak menyebut metode proyeksi hemisperikal) dalam penyelidikan batu atau geologi, seperti Philips (1971), Ragan (1973), Goodman (1976, 1980), Hoek dan Brown (1980), serta Hoek dan Bray (1981). Priest (1985) menyatakan proyeksi hemisperikal sangat bernilai dalam bidang mekanika batuan karena menyajikan data struktur

menutup kemungkinan untuk untuk bidang dan guling. Longsoran baji terjadi akibat ketidakmenerusan yang memotong kemiringan lereng di mana sehingga terbentuk baji yang bidang gelincirnya berada pada perpotongan antara dua bidang ketidakmenerusan yang saling berpotongan, longsoran bidang terjadi akibat ketidakmenerusan memotong searah dengan kemiringan lereng sedangkan longsoran guling terjadi akibat adanya ketidakmenerusan yang berlawanan arah dengan kemiringan lereng dengan jumlah yang relatif rapat..Kliche (1999) menyatakan bahwa longsoran baji lebih mungkin terjadi dibanding longsoran bidang,

Tambang terbuka grasberg berbentuk open pit yaitu lubang berdimensi relatif besar yang digali pada batuan. Geometri open pit lingkaran dan kerucut terbalik sehingga terdapat lereng dengan kedudukan ke segala arah. Hal ini menyebabkan terbentuknya potensi longsoran akibat perpotongan muka lereng dengan struktur ketidakmenerusan merupakan sesuatu yang mutlak. Satu-satunya yang bisa dilakukan pada tahap awal ialah menganalisis arah dan kemiringan lereng mana yang berpotensi membentuk longsoran.

Sejak dulu proyeksi stereografi telah digunakan secara luas untuk membantu menampilkan dan menganalisis kedudukan bidang dan perpotongan 3 dimensi ke dalam 2 dimensi. Sejumlah penulis telah mempublikasikan penggunaan proyeksi stereografis sebagian dengan gambar yang mewakilinya, bukan angka-angka abstrak. Otak manusia sendiri memiliki keterampilan tinggi dalam mengambil informasi gambar dan mampu mengingat metode pembuatan gambar yang cukup rumit. Kekurangan metode ini, sebagaimana metode grafis lainnya, adalah penggambaran mungkin tidak presisi

mendekati nilai sebenarnya. Berdasarkan pengalangan Priest (1985), seringkali diperoleh perbedaan hasil sekitar  $\pm 2^\circ$  dari arah sebenarnya, dan hal ini bisa diterima

## 2. Metode Penelitian

### Struktur Domain

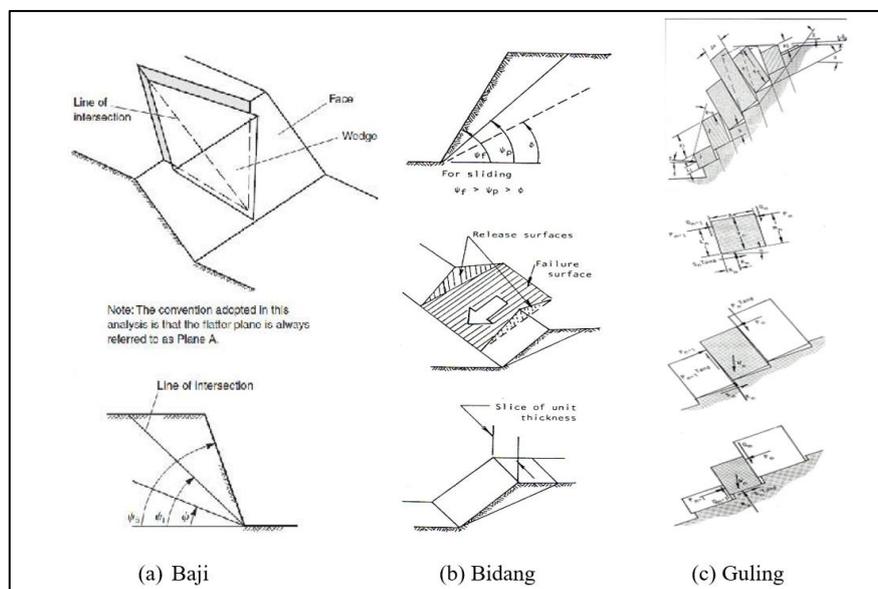
Data pemetaan rinci atau cell-mapping, pemetaan struktur utama, dan arah kemiringan dan strike lereng merupakan batasan untuk menentukan struktur domain. Struktur domain didasarkan pada bentuk tambang Open Pit Grasberg yang terbentuk kerucut dengan penggalian rencana hingga kedalaman  $\pm 1$  km memiliki arah kemiringan dan strike lereng yang di seluruh arah yang berbeda.

### Analisis Longsoran Baji

Longsoran baji terbentuk pada lereng atau tidak berdasarkan terpenuhinya persyaratan geometri longsoran baji sebagai berikut dan dijelaskan dengan Gambar 1a. Dua bidang ketidakmenerusan harus saling berpotongan membentuk struktur garis. Pada

karena ketidakmenerusan di alam jarang sekali benar-benar datar melewati seluruh massa batuan.

stereonet, garis perpotongan diwakili oleh titik di mana dua busur bidang saling berpotongan. Kedudukan garis perpotongan (arah dan kemiringan) dijelaskan dengan istilah trend ( $\alpha_i$ ) dan plunge ( $\nu_i$ ). Plunge garis perpotongan harus lebih landai dari kemiringan lereng dan lebih tegak dari rata-rata sudut geser dalam kedua bidang ketidakmenerusan  $\nu_i > \nu_{cp}$ . Kemiringan lereng ( $N$ ) diukur dari sudut pandang kanan terhadap garis perpotongan. Ingat bahwa  $\nu_i$  hanya akan sama dengan (kemiringan lereng sebenarnya), jika arah kemiringan garis perpotongan sama dengan arah kemiringan lereng. Garis perpotongan arah kemiringan yang memungkinkan ujung garis gelincir tampak di muka lereng. Trend yang memungkinkan berkisar antara sudut lereng dan sudut gesek dalam.



**Gambar 1** Longsoran dan syarat yang harus dipenuhi untuk setiap analisis (a) Longsoran Baji, (b) Longsoran Bidang, dan (c) Longsoran Guling.

### Analisis Longsoran Bidang

Longsoran jenis ini, bila dibandingkan dengan longsoran baji jarang terjadi. Namun bila kondisi yang menunjang terjadinya longsoran bidang ada, maka longsoran yang terjadi mungkin akan lebih besar (secara volume) daripada longsoran baji. Oleh karena itu pengetahuan akan analisis longsoran bidang sangat diperlukan (Gambar 1b). Untuk kasus longsoran bidang dengan bidang gelincir tunggal, persyaratan berikut ini harus terpenuhi yaitu bidang gelincir mempunyai strike sejajar atau hampir sejajar (maksimal  $20^\circ$ ) dengan *strike* lereng, jejak bagian bawah bidang lemah yang menjadi bidang gelincir harus muncul dimuka lereng, dengan kata lain kemiringan

bidang gelincir lebih kecil daripada kemiringan lereng. Kemiringan bidang gelincir lebih besar dari sudut geser dalamnya. Harus ada bidang release yang menjadi pembatas di kanan-kiri blok yang menggelincir

### Analisis Longsoran Guling

Longsoran guling ini terjadi apabila bidang-bidang lemah yang hadir di lereng mempunyai kemiringan yang berlawanan dengan kemiringan lereng. Analisis ini mengambil asumsi bahwa longsoran guling yang terjadi mempunyai n buah blok yang terbentuk teratur dengan lebar  $\Delta x$  dan tinggi  $\gamma_n$  (Gambar 1c)

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Struktur Domain

Data pemetaan rinci atau sering disebut sebagai *cell-mapping* dan pemetaan struktur utama, dianalisis untuk menentukan batas-batas Struktur Domain.

Data pengukuran struktur yang telah dilakukan oleh divisi geologi tambang permukaan Grasberg berjumlah 51090. Hasil Pengukuran berupa koordinat *easting*, *northing*, dan elevasi, strike dan dip, ketebalan, kemenerusan, dan PTFI Rock seperti pada tabel 1.

**Tabel 1** Contoh Tabel Pengukuran Struktur Tambang Terbuka Grasberg (*Surface Mine Geology Dept. PTFI, 2016*)

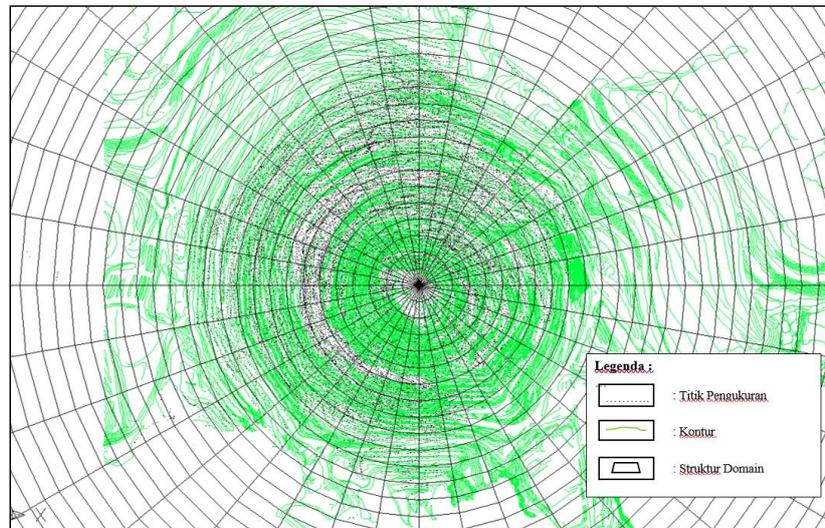
Code	Easting	Northing	Elevasi	Strike	Struct_Dip	thick(cm)	length (m)	PTFI Rock
42648	33348	50506	4266	315	74		30	626
42581	33367	50506	4255	215	60		45	626
42592	33352	50505	4255	323	43		15	62
42603	33349	50505	4255	99	40		17	626
42645	33480	50562	4245	307	67		15	626
42748	33450	50548	4245	308	70		15	626
37761	34804	53371	4244	320	90	0.1	6	630
37762	34814	53378	4244	275	70	5	6	630
37763	34815	53381	4244	22	40	1	6	630
37764	34819	53388	4244	268	85	0.3	6	630

Informasi dari Model Struktur (struktur utama dan struktur penyerta) digunakan untuk membagi batuan di Tambang Terbuka Grasberg menjadi

beberapa Struktur Domain. Masing-masing batas domain ditandai dengan membagi radian setiap 10 derajat yang disumsikan memiliki arah strike lereng yang sama dan

zona yang terbagi secara horizontal dengan jarak antar garis pembagi 100 meter berbentuk lingkaran yang berpusat pada *bottom pit* Grasberg (Gambar 2). Semua informasi struktur tersebut digunakan untuk

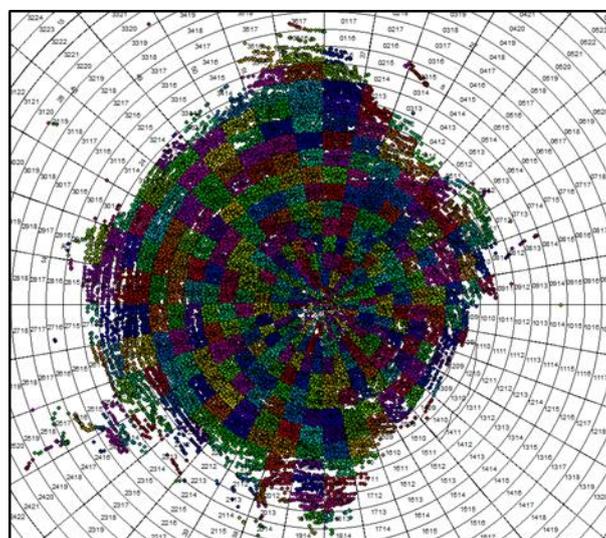
membantu mendefinisikan setiap struktur domain yang terbentuk terhadap potensi bentuk longsoran berdasarkan arah strike lereng yang sama.



**Gambar 2** Sebaran Pengukuran Struktur Tambang Terbuka Grasberg

Struktur domain berdasarkan arah strike yang sama dan pembagian secara horizontal dengan jarak pembagi 100 meter struktur domain pada dua angka pertama menginformasikan arah radian berdasarkan arah azimuth sedangkan 2 angka terakhir menginformasikan jarak datar yang berpusat dari *bottom pit*. Membagi Arah

membagi menjadi 484 sektor dengan 36 arah strike dan lokasi pengukuran yang berbeda (Gambar 3). Penomoran pada azimuth menjadi 10 derajat untuk membagi arah strike yang sama memudahkan dalam menganalisis setiap lereng batuan terhadap orientasi arah umum bidang lemah pada setiap domain.



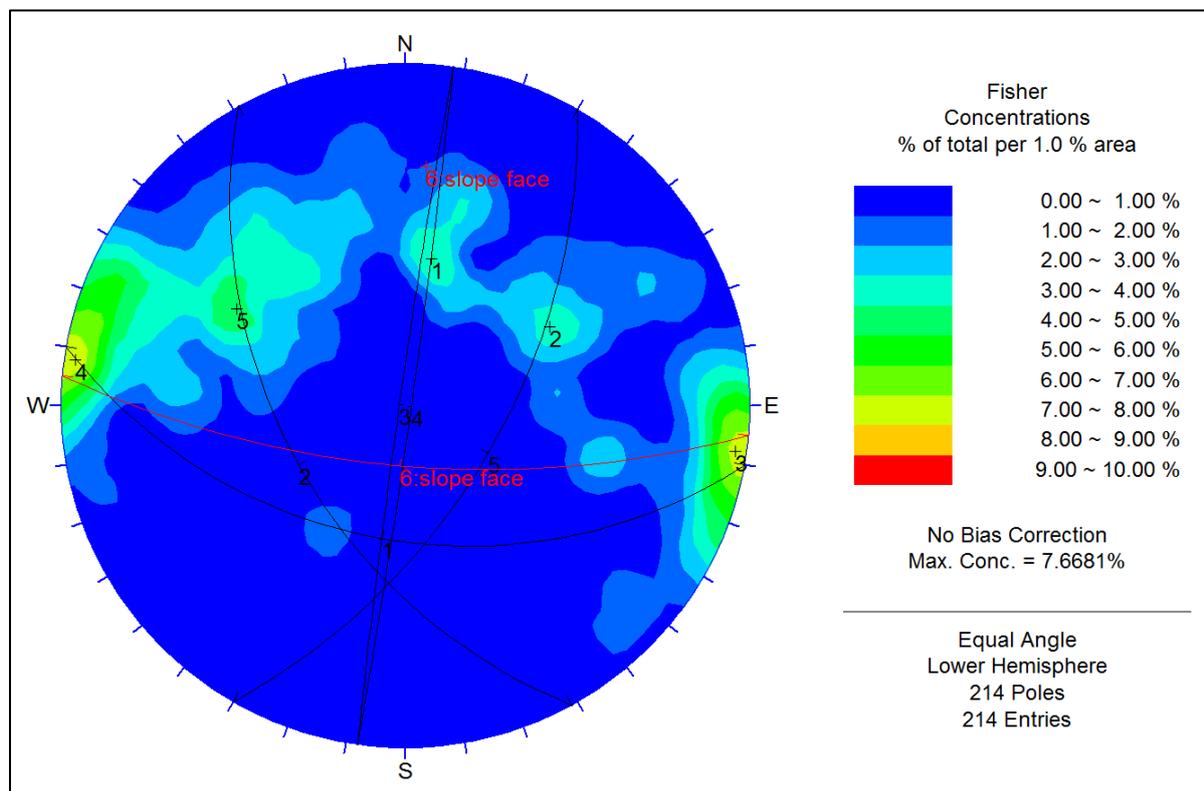
**Gambar 3** Struktur Domain Tambang Grasberg

Hasil pembagian struktur domain dibedakan berdasarkan warna sesuai radian dan zona yang terbagi secara konsisten. Data strike dan dip dari setiap domain dilakukan analisis stereografis menggunakan perangkat lunak dips v 5.1 untuk mendapatkan potensi longsor yang terjadi (Gambar 4).

### Potensi Bentuk Longsor

Analisis Stereografis dilakukan pada setiap domain yang terdapat data pengukuran struktur (Tabel 2). Potensi longsor yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh arah strike dan dip bidang

diskontinu terhadap arah strike dan dip lereng. Analisis stereografis pada gambar IV.9 diatas mempunyai arah strike dan dip lereng N 95° E/70° ditandai dengan *great circle* berwarna merah dengan potensi longsor berupa baji dan bidang. Potensi longsor baji terbentuk akibat dua bidang diskontinu membentuk baji (Bidang diskontinu 2 dan 5) dengan dip perpotongan lebih kecil dibandingkan dengan dip lereng. Potensi longsor bidang terbentuk akibat satu bidang diskontinu (Bidang Diskontinu 1) mendekati paralel terhadap arah strike lereng dan dip yang lebih kecil dibandingkan dengan dip lereng.



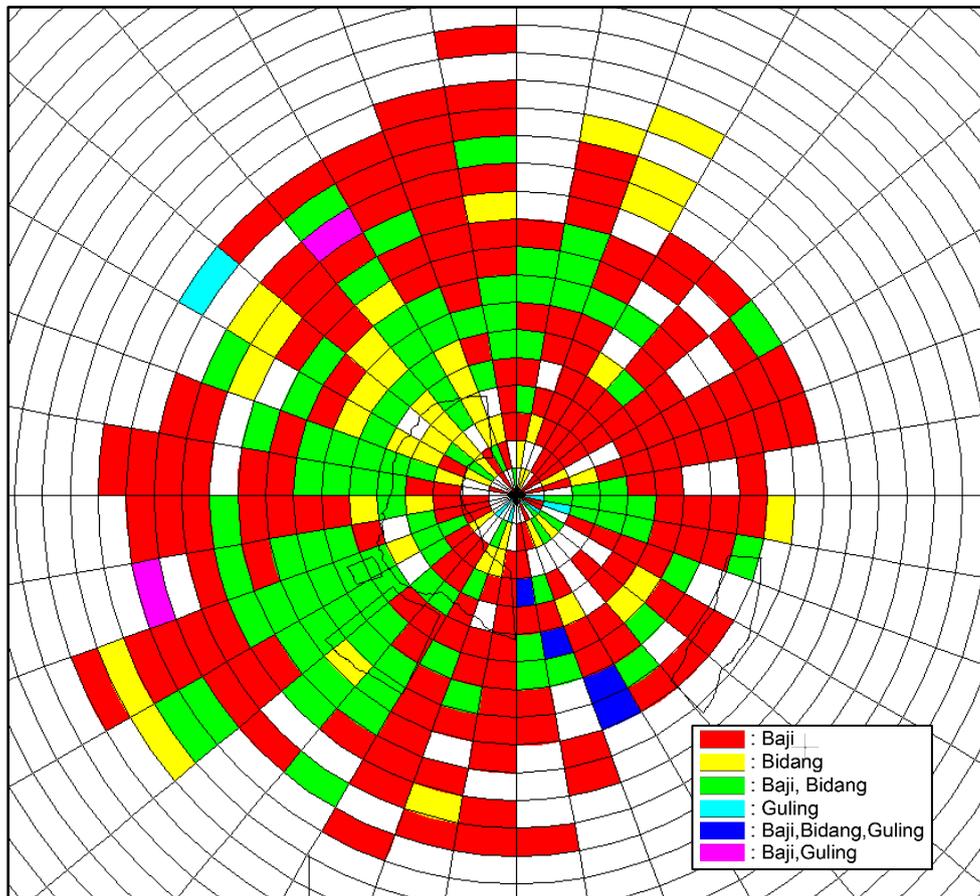
**Gambar 4** Analisis Stereografis menggunakan Dips pada Struktur Domain

**Tabel 2** Analisis Stereografis Potensi Longsoran Menggunakan Dips pada Radian 220°

Zona	Contour Plot	Major Planes Plot	Rosette Plot	Pole Plot	Frekuensi	Potensi Longsoran	Keterangan
2202					7	-	-
2203					06	<b>Baji</b>	Baji : Bidang diskontinu 2 & 4
2204					24	<b>Baji</b>	Baji : Bidang diskontinu 4 & 5
2205					46	<b>Baji, Bidang</b>	Baji : Bidang diskontinu 5 & 6 Bidang : Bidang diskontinu 2

Analisis stereografis yang sama dilakukan pada setiap radian dan zona yang berbeda menghasilkan 370 potensi longsoran (Gambar 5). 203 domain memiliki potensi longsoran baji, 104 domain memiliki potensi longsoran baji

dan bidang, 51 domain memiliki potensi longsoran bidang, 2 domain memiliki potensi longsoran baji dan guling, 6 domain memiliki potensi longsoran guling, dan 4 domain memiliki potensi longsoran baji dan bidang.



**Gambar 5** Potensi Longsor Tambang Terbuka Grasberg

#### 4. Kesimpulan

Proyeksi stereografis dapat digunakan dalam melakukan analisis kemandapan lereng pada batuan beku yang telah dipengaruhi struktur-struktur geologi yang berkembang di daerah penelitian sebagai tahap awal sebelum memperhitungkan faktor keamanan. Potensi longsoran pada lereng terjadi jika syarat-syarat setiap longsoran terpenuhi semuanya. Tambang terbuka Grasberg memiliki Potensi longsoran yang beragam

dan variatif pada setiap kedalaman dan arah lereng yang berbeda-beda dengan cara membagi data struktur bidang lemah disesuaikan dengan 36 arah strike dan pembagian wilayah pengukuran menjadi 484 domain dihasilkan 370 domain yang memiliki potensi longsoran. Potensi longsoran didominasi oleh longsoran baji setiap arah lereng tambang terbuka Open Pit Grasberg.

## Daftar Pustaka

- Departemen Geologi Tambang Terbuka.  
(2016). Pengukuran Struktur Tambang Terbuka PTFI. Tembapura: PTFI
- Kliche, C.A. 1999. Rock Slope Stability. Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).
- Hoek, E. and Brown, E.T. (1988): *The Hoek-Brown Failure Criterion – a 1988 Update*, Proceedings of the 15<sup>th</sup> Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto.
- Hoek, J. & Bray, E. 1981. Rock Slope Engineering. London, Institution of Mining and Metallurgy
- Priest, S.D. 1985. Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics. George Allen & Unwin. London.
- Priest, Stephen D. 1993. Discontinuity Analysis for Rock Engineering. Chapman and Hall.