ANALISIS PENGARUH KEDUDUKAN STRUKTUR TERHADAP POTENSI LONGSORAN BAJI PADA LERENG TAMBANG TERBUKA MENGGUNAKAN PROYEKSI STEREOGRAFIS

Sari Melati
Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
e-mail: sari@unlam.ac.id

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 longsoran. Jenis dan geometri longsoran 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. Data struktur geologi umumnya diperoleh dari analisis statistik hasil pengukuran struktur secara langsung di muka lereng yang sudah digali atau dari pengukuran struktur inti bor. Selanjutnya data ini dikombinasikan dengan kedudukan lereng tambang desain atau aktual yang sudah diterapkan untuk menganalisis apakah lereng tersebut aman secara kinematik. Hasil analisis digunakan sebagai dasar dalam melakukan analisis lanjutan dengan mempertimbangkan gaya-gaya yang bekerja sehingga dapat diambil keputusan untuk mendesain ulang atau memberikan perkuatan terhadap lereng.

Kata-kata kunci: analisis longsoran, lereng tambang terbuka, longsoran baji, proyeksi stereografis

PENDAHULUAN

Kestabilan lereng tambang terbuka merupakan faktor penting yang mampu menjamin kelangsungan produksi serta keselamatan pekerja dan peralatan tambang. Upaya rekayasa kestabilan lereng berlangsung terus-menerus sejak proses desain sampai kegiatan penambangan berlangsung. Salah satu upaya untuk memperoleh lereng yang stabil adalah dengan menghindari desain lereng yang memicu potensi longsoran.

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 tejadi ialah longsoran baji seperti yang telihat pada Gambar-1. 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. Kliche (1999) menyatakan bahwa longsoran baji lebih mungkin terjadi dibanding longsoran bidang, jika ditinjau dari segi geometri dan kondisi geologi, sehingga kajian mengenai kestabilan baji merupakan suatu komponen penting dalam rekayasa lereng batuan.

Tambang terbuka sebagian besar berbentuk open pit, yaitu lubang berdimensi relatif besar yang digali pada batuan. Geometri open pit umumnya lingkaran sehingga terdapat lereng dengan kedudukan ke segala arah. 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 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 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 dengan gambar yang mewakilinya, bukan angka-angka abstrak. Otak manusia sendiri memiliki keterampilan tinggi dalam mngambil 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 pengalaman Priest (1985), seringkali diperoleh perbedaan hasil sekitar ± 2° dari arah sebenarnya, dan hal ini bisa diterima karena ketidakmenerusan di alam jarang sekali benar-benar datar melewati seluruh massa batuan.

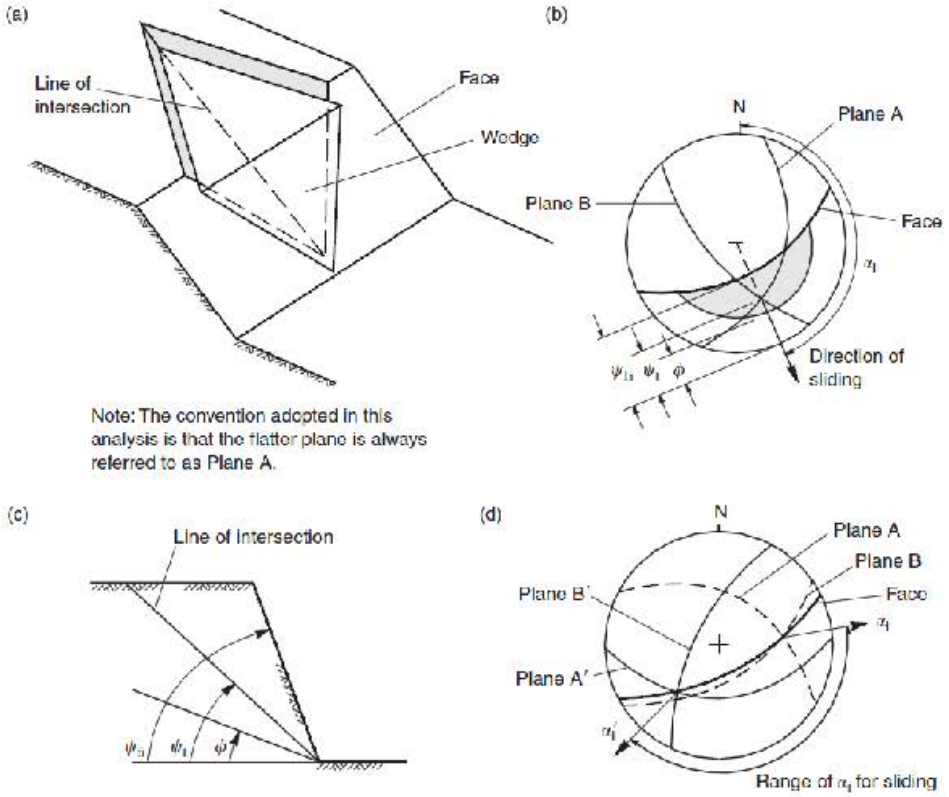
METODOLOGI

Penentuan apakah longsoran baji terbentuk pada lereng atau tidak berdasarkan terpenuhinya persyaratan geometri longsoran baji sebagai berikut dan dijelaskan dengan Gambar-2.

1. Dua bidang ketidakmenerusan harus saling berpotongan membentuk struktur garis. Pada stereonet, garis perpotongan diwakili oleh titik di mana dua busur bidang saling berpotongan. Kedudukan garis perpotongan (arah dan kemiringan) dijelaskan dengan istilah trend (α_i) dan plunge (ψ_i).
2. Plunge garis perpotongan harus lebih landai dari kemiringan lereng dan lebih tegak dari rata-rata sudut geser dalam kedua bidang ketidakmenerusan $\psi_{fi} > \psi_i > \varphi$. Kemiringan lereng ($\psi_{fi}$) diukur dari sudut pandang kanan terhadap garis perpotongan.

3. Ingat bahwa ψ_{fi} hanya akan sama dengan ψ_f (kemiringan lereng sebenarnya), jika arah kemiringan garis perpotongan sama dengan arah kemiringan lereng
4. Garis perpotongan harus memiliki arah kemiringan yang memungkinkan ujung garis gelincir tampak di muka lereng. Trend yang memungkinkan berkisar antara α_i and α.

Gambar-1. Penampakan longsoran baji pada lereng : garis merah menunjukkan garis perpotongan struktur ketidamenerusan



Gambar-2. Persyaratan geometris terbentuknya longsoran baji : (a) geometri longsoran baji pada lereng, (b) penggambaran muka lereng dan perpotongan dua bidang ketidakmenerusan dengan proyeksi stereografis, (c) longsoran baji digambarkan melintang pada garis perpotongan dua bidang ketidakmenerusan, (d) rentang arah yang memungkinkan terjadinya longsor

Analisis potensi longsoran baji membutuhkan data kedudukan struktur geologi (ketidakmenerusan) dan kedudukan lereng tambang. Ketidakmenerusan dapat diukur langsung di massa batuan yang terbuka seperti tebing di pantai, kuari, tambang terbuka, bukaan tambang bawah tanah yang belum disangga, atau badan batuan yang dipotong oleh jalan. Pengukuran ketidakmenerusan secara langsung ini disebut metode scanline. Secara umum lereng tambang yang telah tereskpos sangat menguntungkan untuk pengukuran kekar menggunakan metode scanline karena permukaan massa batuan mendekati datar, bersih dari tumbuhan yang menutupinya, dan ukurannya relatif besar jika dibandingkan dengan spasi ketidakmenerusan. Apabila tidak ada lokasi yang terekspos, data ketidakmenerusan bisa diukur pada contoh inti bor. Kondisi ketidakmenerusan yang teramati begitu inti bor diangkat lebih mewakili kondisi massa batuan sebenarnya di dalam blok batu yang dibor dibandingkan kondisi ketidakmenerusan di permukaan yang sudah terekspos dalam waktu lama karena sebagian mungkin sudah terlapukkan. Hanya saja, pengukuran pada contoh inti bor ini memerlukan pengawasan ketat saat mengukur orientasi lubang bor dan inti bor dalam rangka memperoleh data yang valid. Namun penggunaan borehole camera, yaitu kamera yang

dimasukkan ke dalam lubang bor, akhir-akhir ini sangat membantu memastikan hal tersebut bisa diatasi.

Scanline secara manual dilakukan dengan tahapan : memilih lokasi permukaan massa batuan yang akan diukur ketidakmenerusannya, menentukan panjang permukaan yang akan diambil data, membentangkan pita ukur sepanjang garis (line), mengumpulkan data ketidakmnenrusan. Data ketidakmenerusan yang dicatat setidaknya memuat jarak dari titik awal scanline, arah dan kemiringan kekar, kondisi kemenerusan, jarak bukaan, jenis isian, dan kondisi air dalam kekar. Apabila lereng terlalu tinggi dan tidak terjangkau untuk diukur secara manual, hasil pengolahan data gambar (image analysis) dari perangkat lunak juga dapat digunakan. Metode ini disebut photogrammetry.

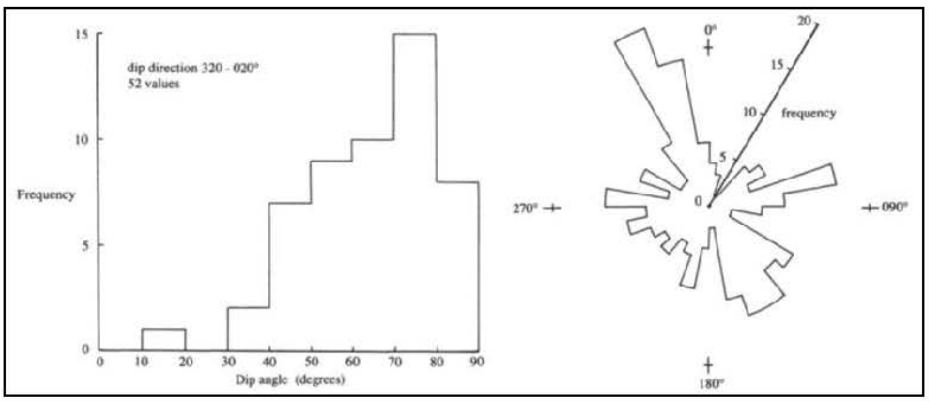
Panjang permukaan lereng yang diukur (Gambar3-a) sebagai contoh yang mewakili seluruh massa batuan yang akan dianalisis sangat penting untuk diuraikan. Priest (1993) menyatakan panduan kasar bahwa setidaknya zona pengambilan contoh harus memiliki paling sedikit 150 sampai 350 ketidakmenerusan, yang mana sekitar 50% dari itu setdaknya satu terlihat batas/ujungnya. International Society of Rock Mechanics (ISRM) menyarankan panjang garis pengukuran data ketidakmenerusan setidaknya sepuluh kali dari spasi kekar rata-rata.

Permukaan lereng yang dipilih untuk mengamati kondisi batuan dan ketidakmenerusan harus mewakili seluruh lokasi yang akan dianalisis. Selain itu perlu dipastikan tempat tersebut aman untuk bekerja. Jatuhan batuan atau kehadiran kendaraan tambang merupakan sebagian bahaya yang perlu diperhatikan. Kebanyakan permukaan batuan yang digali maupun asli dibentuk oleh kekar utama atau patahan. Oleh karena itu alangkah baiknya dilakukan lagi scanline pada permukaan lereng yang berbeda dengan arah yang berbeda pula untuk mengetahui jaringan ketidakmenerusan secara tiga dimensi. Misalnya pada contoh kasus lereng tambang terbuka seperti yang terlihat pada Gambar-3.

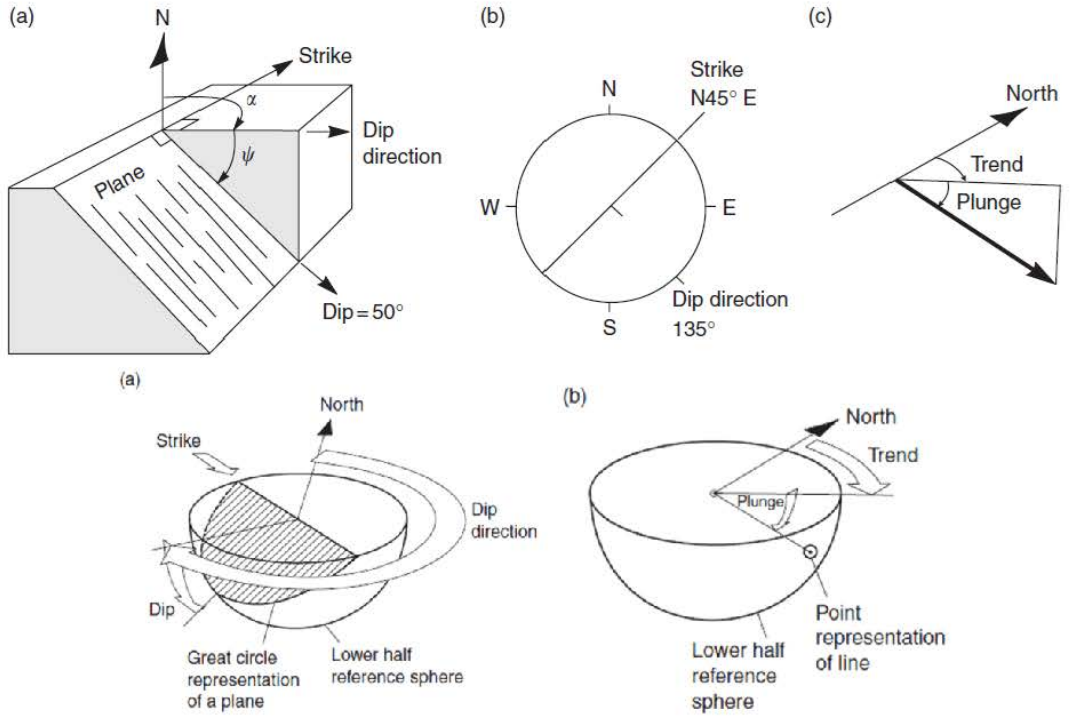
Selanjutnya data hasil pengukuran kekar atau ketidakmenerusan dianalisis secara statisitk untuk mengetahui keduduka umumnya. Cara paling sederhana untuk menyajikan data adalah seperti terlihat dalam Gambar-4, yaitu dengan diagram batang (histogram) atau diagram lingkaran (mawar). Kekurangan diagram mawar dan hsitogram ialah tidak memuat informasi kemiringan struktur. Oleh karena itu, pendekatan ini terutama dipakai pada kasus dimana ketidakmenerusan memiliki kemiringan lebih dari 60°. Sementara diagram batang harus menganalis data arah dan kemiringan secara terpisah dan tidak memperlihatkan posisi angka yang diperoleh secara grafis.

Penyajian dan analisis data arah serta kemiringan sekaligus dapat diakomodir olehproyeksi stereografi. Gambar-5 menjelaskan prinsip dasar proyeksi yaitu arah garis dalam ruang tiga dimensi diwakili oleh suatu titik dalam area proyeksi berbentuk lingkaran dengan jari-jari tertentu, sedangkan bidang diwakili oleh garis melengkung. Gambar-6 menunjukkan tipikal hasil analisis statistik data pengukuran ketidakmenerusan menggunakan proyeksi stereografis. Seluruh dat diplot pada bidang proyeksi, kemudian dihitung jumlah data yang ada dalam satu area kecil, secara manual perhitungan menggunakan jaring-jaring kaalsbek, kemudian dibuat garis-garis konturnya. Namun saat ini sudah tersedia aplikasi komputer yang menggunakan proyeksi stereografis seperti program dips atau stereonet sehingga pekerjaan memilih titik pusat yang mewakili kedudukan umum kekar dapat dikerjakan dengan cepat dan akurat. Perpotongan dua atau lebih bidang ketidakmenerusan akan menjadi bidang gelincir longsor.

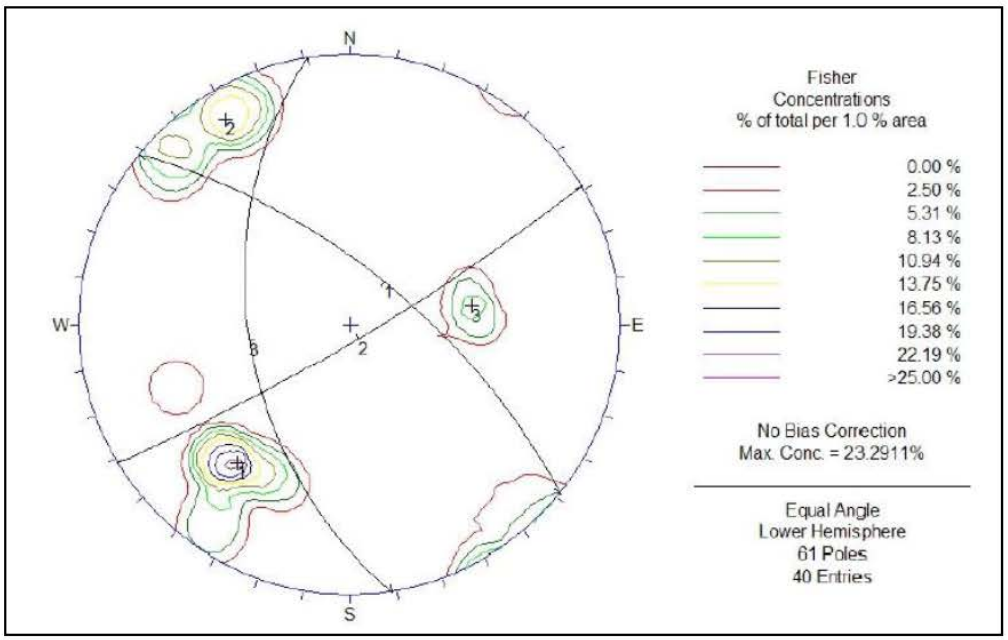
Gambar-3. (kiri) tipikal pengaturan panjang scanline (sumber : Priest, 1993), (kanan) pengukuran bidang ketidakmenerusan pada lereng tambang terbuka



Gambar-4. Pengolahan data hasil pengukuran ketidakmenerusan : (kiri) Histogram, (kanan) Rose diagram

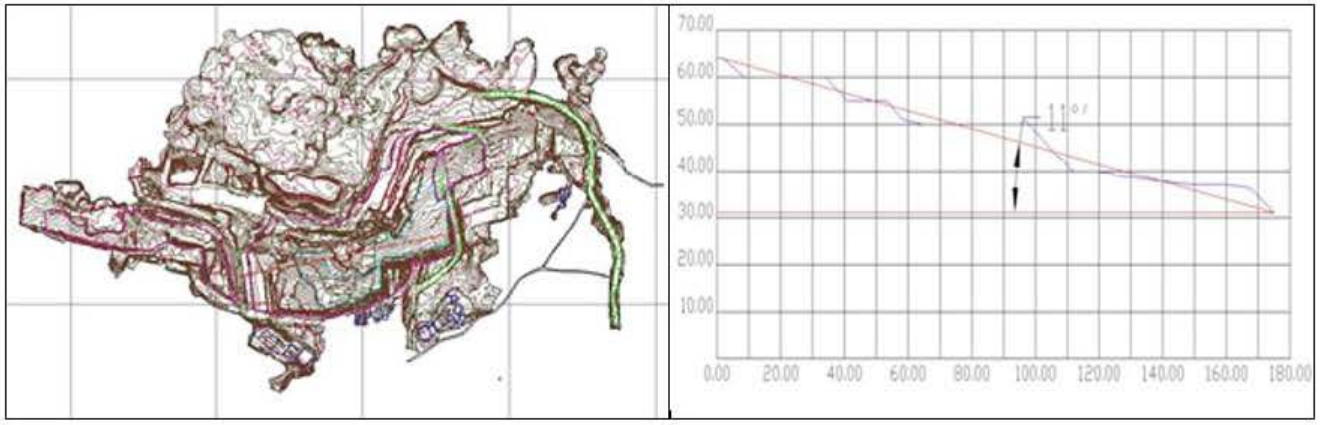


Gambar-5. Atas : (a) istilah dalam bidang ketidakmenerusan : dip dan dip direction (kemiringan dan arah kemiringan), (b) bidang ketidakmenerusan tampak atas, (c) istilah struktur garis : trend dan plunge (arah dan kemiringan)
Bawah : Proyeksi stereografis ; (a) sstruktur bidang, (b) struktur garis



Gambar-6. Tipikal penyajian data hasil pengukuran kekar dengan proyeksi stereografis

Persyaratan geometris terjadinya longsoran baji ditentukan oleh kedudukan muka lereng. Kedudukan muka lereng yang terdiri atas kemiringan dan arah muka lereng dapat diukur secara langsung pada dasar lantai tambang terbuka atau ditentukan secara grafis dari peta kontur tambang, baik kondisi aktual maupun kontur desain (lihat Gambar-7). Arah dan kemiringan muka lereng selanjutnya diplot pada lingkaran stereonet bersama dengan kedudukan struktur untuk dianalisis potensi longsoran yang terbentuk.



Gambar-7. Penentuan arah dan kemiringan lereng tambang terbuka dengan peta kontur dan sayatan

Gambar-8. Tambang terbuka dilihat dari sidewall west

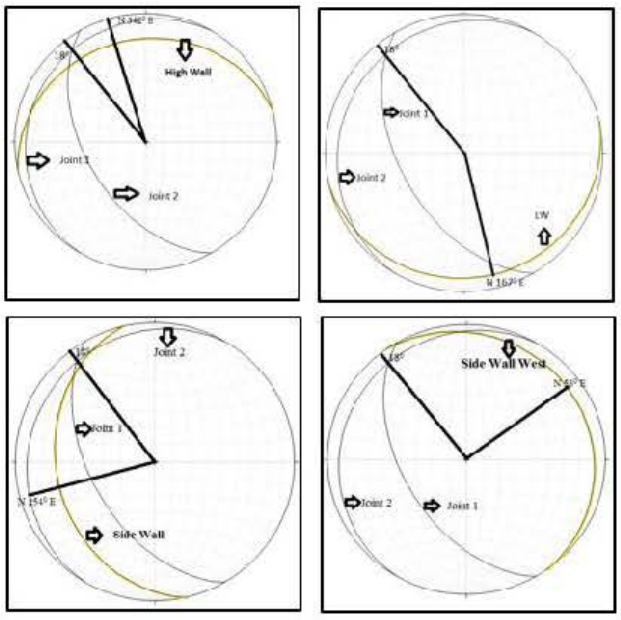
HASIL DAN DISKUSI

Berdasarkan hasil analisis statistik data kekar diperoleh dua famili kekar, yaitu kekar 1 memiliki kedudukan umum dip direction/dip N 240° E/52° dan kekar 2 memiliki kedudukan umum dip direction/dip N 300° E/11°. Kedua arah umum kekar akan berpotongan pada arah N 321° E dengan kemiringan garis perpotongan 18°. Persyaratan geometri sebagaimana diuraikan dalam metodologi penelitian poin 1 telah terpenuhi.

Selanjutnya ditinjau persyaratan geometris poin 2. Gambar-8 menunjukkan kondisi tambang terbuka yang akan dianalisis. Hasil analisis digambarkan dengan proyeksi stereografis. Empat lokasi mewakili posisi muka lereng tambang terbuka, yaitu highwall, low wall, side wall east, dan side wall west.

Pada lereng highwall ada potensi longsoran baji karena arah struktur garis perpotongan dua bidang kekar N 321° E memotong arah muka lereng N 347° E° dalam rentang arah α_i and α sebagaimana tercantum pada syarat geometris poin 4 dan kemiringan lereng lebih curam dari kemiringan garis perpotongan (21°>18°) sebagaimana tercantum pada syarat geometris poin 2.

Pada lereng lowwall tidak terdapat potensi longsoran baji karena arah struktur garis perpotongan dua bidang kekar N 321° E berlawanan dengan arah muka lereng N 167° E°. Bahkan walaupun memotong, syarat kemiringan tidak terpenuhi karena kemiringan lereng low wall hanya 11°<18° sehingga ujung garis perpotongan tidak akan muncul di muka lereng.



Gambar-9. Proyeksi stereografis kedudukan kekar dan perpotongan kekar terhadap muka lereng tambang terbuka

Pada lereng sidewall east tidak terdapat potensi longsoran baji karena walaupun arah struktur garis perpotongan dua bidang kekar N 321° E memotong arah

muka lereng N 254° E°, tetapi tidak dalam rentang arah α_i and α, walaupun kemiringan lereng lebih curam dari kemiringan garis perpotongan (30°>18°).

Pada lereng sidewall west tidak terdapat potensi longsoran baji karena arah perpotongan dua bidang kekar N 321° E tidak memotong arah muka lereng N 53° E dan kemiringan lereng sendiri sangat landai hanya 11°<18°. Lereng side wall ini pada kondisi aktualnya dirancang sebagai lereng di mana akses jalan masuk ke dalam pit dibuat. Sehingga berdasarkan analisis kinematik ini, penempatan jalan masuk pada sidewall east sudah aman.

KESIMPULAN

Proyeksi stereografis dapat digunakan dalam melakukan analisis kemantapan lereng tahap awal sebelum memperhitungkan faktor keamanan. Potensi longsoran baji pada lereng ada jika syarat-syarat geometrisnya terpenuhi. Berdasarkan hasil analisis dari penelitian ini, peluang penelitian berikutnya yang bisa dilakukan adalah analisis geometri dan berat longsoran baji, permodelan numerik untuk menilai kestabilan lereng highwall, atau rekayasa reorientasi lereng highwall dengan memperhatikan perolehan cadangan saat merancang pit.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Arif, Irwandi. 2016. *Geoteknik Tambang*. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

[2] Kliche, C.A. 1999. *Rock Slope Stability*. Littleton, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME).

[3] Hoek, J. & Bray, E. 1981. *Rock Slope Engineering*. London, Institution of Mining and Metallurgy

[4] Priest, S.D. 1985. Hemispherical Projection Methods in Rock Mechanics. George Allen & Unwin. London.

[5] Priest, Stephen D. 1993. *Discontinuity Analysis for Rock Engineering.* Chapman and Hall.

[6] Simatupang, Dedy H. dan Sinaga, Lofty R.S. 2016. *Laporan Kerja Praktek : Pengamatan Pemboran Geoteknik Untuk Eksplorasi Dan Penentuan Sudut Lereng Pada PT Bara Tabang Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru.

[7] Wyllie, D.C. & Mah C.W. 2004. *Rock Slope Engineering*. New York, Taylor & Francis.