

PENILAIAN RESIKO LONGSOR UNTUK STABILITAS LERENG BERDASARKAN METODE PROBABILITAS MONTE CARLO (STUDI KASUS LINGKAR 3, TAMBANG AIR LAYA, KECAMATAN LAWANG KIDUL, MUARA ENIM, SUMATRA SELATAN)

Dimas Ihsan Putranto^{1*}, Zufialdi Zakaria¹, Dicky Muslim¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Korespondensi: dmsihsan@gmail.com

ABSTRAK

Kegiatan penambangan batubara dibutuhkan dalam memenuhi kebutuhan sumber daya energi nasional. Ditambang terbuka Tambang Air Laya secara kondisi geologi merupakan daerah terbentuknya intrusi batuan andesit dengan keterdapatan kualitas kalori batu bara yang tinggi. Tetapi karena adanya kondisi struktur yang kompleks menjadikan intrusi memiliki intensitas kekar yang dapat memicu terjadinya longsor. Sehingga untuk meminimalisir resiko tersebut dilakukan stabilitas lereng berdasarkan penilaian resiko. Penilaian resiko menggunakan Metode Monte Carlo. Metode Monte Carlo yang dilakukan dalam penelitian ini didasari oleh metoda kesetimbangan batas dengan menggunakan variabel acak dari data parameter uji yaitu kohesi dan sudut geser dalam. Perumusan kesetimbangan batas tergantung dari jenis longsor yang mungkin terjadi, maka dari itu analisis kinematika dilakukan terlebih dahulu agar mekanisme longsor dapat diketahui. Hasil perhitungan pada tiga bagian lereng (A, B, dan C) yang didapat dari Monte Carlo merupakan probabilitas longsor. Sehingga di akhir penelitian, akan didapatkan penilaian resiko dan pencegahan untuk lereng yang diteliti.

Kata kunci: analisis kinematika, kesetimbangan batas, metode Monte Carlo, dan probabilitas longsor

ABSTRACT

Coal mining activity is essential in order to retrieve needs of national energy resources. In an open pit mining, such as Tambang Air Laya had a geological condition formed by andesite intrusion with coal high quality calories around it. Due to the existence of complex structural conditions caused the intrusion had high intensity of joints, it could be a trigger of mass movement. Accordingly to minimized risk of mass movement by establishing slope design which is based on risk assessment. The risk assessment is using Monte Carlo Method. The Monte Carlo method in this study is based on limit equilibrium principles which random variable for the test is generated by using test parameters which are cohesion and internal friction angle. The limit equilibrium formula for each test is depend on its mechanism of slope failure, therefore the mechanism have to be known first. The result of Monte Carlo simulations on three sections of slope (A, B, and C) are ranges of strength slopes and failure probability, in the end of research a reference for slope risk assessment dan support can be acquired.

Keywords: kinematic analysis, limit Equilibrium, Monte Carlo method, and probability of failure

1. PENDAHULUAN

Tambang Air Laya secara kondisi geologi merupakan daerah terbentuknya intrusi batuan andesit dengan keterdapatan kualitas kalori batubara yang tinggi. Tetapi karena adanya kondisi struktur yang kompleks menjadikan intrusi memiliki intensitas kekar yang dapat memicu

terjadinya longsor. Tentunya untuk mengambil kualitas batubara yang tinggi tersebut diperlukan perhitungan yang tepat terhadap resiko terjadinya longsor di daerah Tambang Air Laya.

Sehingga perlu dilakukan penelitian di daerah Lingkaran 3 Tambang Air Laya, untuk menentukan resiko terjadi longsor dan pencegahannya di daerah tersebut. Beberapa

metode yang dilakukan peneliti untuk menentukan kemungkinan longsor di daerah Lingkar 3 Tambang Air Laya, yaitu analisis kinematika untuk menentukan jenis longsor yang dapat terjadi di daerah penelitian, dan perhitungan probabilitistik monte carlo, salah satu pendekatan yang diperlukan untuk memperkecil ketidakpastian terhadap longsor.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Regional

Secara fisiografis bagian selatan dari Sumatera ini dapat dibagi menjadi 4 (empat) bagian, yaitu:

1. Cekungan Sumatera Selatan,
2. Bukit Barisan dan Tinggian lampung,
3. Cekungan Bengkulu, meliputi lepas pantai antara daratan Sumatera dan rangkaian pulau-pulau di sebelah barat Sumatera, dan
4. Rangkaian kepulauan (*fore arc ridge*) di sebelah barat Sumatera, yang membentuk suatu busur tak bergunung-api di sebelah barat Pulau Sumatera.

Berdasarkan konsep Tektonik Lempeng, kedudukan cekungan batubara Tersier di Indonesia bagian barat berkaitan dengan sistem busur kepulauan. Dalam sistem ini dikenal adanya cekungan busur belakang, cekungan busur depan dan cekungan antar busur. Masing-masing cekungan tersebut memiliki karakteristik endapan batubara yang berbeda antara satu dengan lainnya. Menurut Koesoemadinata & Hardjono (1978), semua cekungan batubara Tersier di Indonesia (termasuk Cekungan Sumatera Selatan) digolongkan jenis cekungan paparan karena berhubungan dengan kerak benua pada semua sisinya, kecuali Cekungan Kutai dan Cekungan Tarakan di Kalimantan Timur yang digolongkan sebagai *continental margin*.

2.2 Analisis Kinematika

Kondisi geologis pada banyak kasus sangat berpengaruh pada stabilitas lereng, terutama struktur geologi, walaupun menurut Wyllie & Mah (2004), struktur geologi bisa jadi mempengaruhi stabilitas secara tidak langsung. Pada penelitian ini, struktur geologi yang dimaksud mengacu pada diskontinuitas alamiah pada batuan, seperti: kekar, sesar, maupun kontak batuan (jika ada). Analisis metoda kinematika bertujuan untuk mengetahui mekanisme longsor menggunakan proyeksi stereografis data diskontinuitas. Untuk itu, pertama-tama struktur geologi harus diidentifikasi terlebih dahulu kemudian ditentukan pengaruhnya terhadap stabilitas; mengenai langkah prosedur identifikasi struktur geologi serta penentuan pengaruh diskontinuitas terhadap stabilitas.

Wyllie & Mah (2004) menyebutkan beberapa aspek fundamental mengenai stereonet dan analisis dari model stereonet, termasuk syarat terjadi dan bentuk modelnya. Berikut merupakan model longsor yang sesuai dengan bentuk longsor yang mungkin terjadi.

Tipe planar terjadi jika ada bidang planar (ψ) yang sejajar atau hampir sejajar terhadap muka lereng (ψ_f); sekitar 20° . Dengan kemiringan yang lebih landai dari muka lereng tersebut. Apabila didapatkan bidang sejajar yang lain dengan orientasi yang berlawanan, bisa didapatkan kemungkinan *toppling* dengan syarat bahwa pole dari bidang tersebut berada di luar lingkaran sudut gesek dalam (ϕ).

Berdasarkan pada Wyllie & Mah (2004). Bidang yang berpotongan dalam bentuk longsor *wedge*, harus memiliki pole yang berada dalam *daylight envelope* untuk longsor *wedge*. Sehingga titik perpotongan dari kedua bidang perpotongan memiliki trend yang hampir sejajar dengan muka lereng. Adapun titik perpotongan tersebut harus berada dalam lingkaran sudut gesek dalam, dan berada di depan bidang proyeksi lereng (lebih besar dari kemiringan lereng).

Toppling terjadi jika ada bidang planar, sejajar dengan lereng dengan

kemiringan lebih landai dari lereng. Didapatkan pula bidang *toppling* yang memiliki *pole* diluar lingkaran sudut gesek dalam. Bentuk *toppling* bisa berasosiasi dengan bentuk planar. Tidak selalu blok pada bidang akan bergerak rotasional, akan ada blok yang bergerak meluncur terutama blok bagian terbawah dekat dengan *toe*.

Model Model *plane*, *wedge*, dan *toppling* disertai konsep sudut gesek dalam oleh Wyllie & Mah (2004) dijadikan patokan untuk analisis kinematika dalam penelitian ini. Dengan catatan bahwa tidak menutup kemungkinan bahwa dalam satu lereng akan ditemukan beberapa bentuk longsoran yang mungkin terjadi. Sehingga dalam satu lereng bisa dilakukan satu kali analisis atau lebih, tergantung dari pola diskontinuitas yang terdapat pada lereng tersebut.

2.3 Parameter Uji Keseimbangan Batas Monte Carlo

Ada dua parameter uji yang dipakai untuk simulasi keseimbangan batas yaitu kohesi dan sudut gesek dalam. Kohesi atau gaya kohesif merupakan gaya tarik menarik antar molekul pada senyawa sejenis. Sudut gesek dalam merupakan sudut pada diagram lingkaran Mohr yang dibentuk tekanan gerus dan tekanan normal yang bekerja pada benda ketika mulai pecah, dimana prinsip pecah mengacu pada prinsip pecah Hoek-Brown.

Cara untuk mengukur kohesi dan sudut gesek dalam yaitu melalui simulasi *Roclab*. Simulasi *Roclab* dari UCS memiliki keunggulan dari segi biaya dan waktu, namun tingkat keakurasian sangat tergantung pada kemampuan dan pengalaman dari pengamat. Hal ini disebabkan ada beberapa aspek dalam uji tersebut yang cenderung bersifat subjektif.

2.4 Simulasi Roclab

Roclab merupakan program yang berfungsi untuk menentukan parameter kekuatan massa batuan berdasarkan prinsip pecah Hoek-Brown. Salah satu data yang bisa diamati menggunakan *Roclab* ialah data UCS. simulasi *Roclab* ini dapat memberikan nilai kohesi dan sudut geser dalam dan

biasanya dilakukan ketika belum ada data yang lebih akurat.

Simulasi kurva dapat dilakukan dengan menginput data pada *software Roclab*. Berdasarkan prinsip pecah Hoek-Brown, nilai yang harus diketahui untuk perhitungan simulasi ialah massa jenis, UCS, faktor gangguan (D), dan rentang gaya ketika batuan pecah (*failure envelope*).

a) Hammer Test

Merupakan pengujian yang didasarkan pada kuat tekan dari palu geologi, melihat kondisi pengaruhnya pukulan palu terhadap batuan, jika batuan memiliki tingkat pelapukan dari sedang-tinggi, dapat diuji menggunakan pisau dikarenakan batuan relatif lemah.

b) Geological Strength Index (GSI)

GSI (*Geological Strength Index*) merupakan sistem untuk pemerkiraan sifat massa batuan secara kualitatif, dimana sifat massa batuan dapat diinput sebagai nilai numerik untuk analisis geologi teknik.

$$GSI = 1.5 JCond_{89} + RQD/2$$

Dimana:

GSI = Nilai *Geological Strength Index*

JCond89 = Nilai *Joint Condition*

(Bienawski, 1989)

RQD = Nilai *Rock Quality Designation*

GSI menggunakan penilaian litologi, struktur dan kondisi suatu diskontinuitas pada massa batuan dan mengestimasi dari penilaian visual suatu massa batuan di permukaan. Sehingga untuk memperoleh GSI dapat di hitung berdasarkan rumus (Hoek dkk., 2013).

2.6 Uji Monte Carlo Berdasarkan Keseimbangan Batas

Analisis probabilistik pada dasarnya dilakukan untuk mengurangi tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) dan telah dilakukan oleh para ilmuwan di abad ke-19. Hun, menyebutkan bahwa metoda ini mulai sering digunakan semenjak diaplikasikan pada pengembangan bom atom oleh Enrico Fermi di tahun 1930 untuk menentukan nilai sifat neutron pada berbagai unsur. Gibson

(2011) berpendapat bahwa apabila dibandingkan dengan metoda probabilistik lain, metoda Monte Carlo merupakan metoda termudah namun setara dengan metoda lain yang secara model perhitungan mungkin lebih elegan dan rumit. Pernyataan tersebut dibuktikan dalam jurnal ilmiahnya yang membandingkan metoda Monte Carlo dengan metoda probabilistik lain, Maka dari itu uji probabilistik pada penelitian ini menggunakan Monte Carlo.

Metoda Monte Carlo membutuhkan *threshold* sebagai acuan hitung, Contohnya pada penelitian ini, digunakan *threshold* faktor keselamatan (FS) berdasarkan konsep perhitungan kesetimbangan batas, dimana lereng dikatakan aman jika $FS > 1,25$; kondisi riskan $1,25 - 1,07$; dan mengalami failure jika $FS < 1,07$. (Bowles, 1989, dalam Zakaria, 2011)

Asumsi FS itulah yang menjadi acuan dalam penelitian, tiap-tiap uji yang memenuhi asumsi tersebut yang menjadi probabilitas longsor. Dengan catatan, pemodelan Monte Carlo harus memenuhi jumlah uji tertentu. Sehingga memiliki pemodelan sebagai berikut:

Dari model tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi frekuensi nilai uji dan semakin kecil nilai *error* (α) maka semakin mengerucut bentuk model probabilitas, hal tersebut mengindikasikan semakin tinggi keyakinan (*confidence*) hasil uji probabilistik yang didapat dan semakin rendah sebaran standar deviasi normalnya (d).

Gibson (2011), menyebutkan bahwa dalam Monte Carlo untuk desain lereng dapat dibagi menjadi tiga skala, yaitu: skala *bench*, skala *ramp*, dan skala *overall*. Dalam penelitian ini skala yang dipakai ialah skala *bench*.

Konsep yang dipakai sebagai acuan perhitungan Monte Carlo ialah konsep kesetimbangan batas. Sehingga parameter uji merupakan variabel terkait dengan perbandingan gaya menahan (r) terhadap gaya mendorong (d) ketika berada pada keadaan potensial, yaitu massa diasumsikan berada dalam kondisi setimbang. Ada beberapa perumusan yang bisa dipakai

mengenai kesetimbangan, tergantung dari bentuk longsor yang terjadi.

Dari tiap uji kesetimbangan akan memberikan nilai FS yang berbeda, sehingga dalam 10000 kali uji (N) akan didapatkan 10000 nilai FS. Tiap-tiap nilai FS dibagi menjadi dua berdasarkan *threshold* $FS > 1$, yaitu nilai yang tidak memenuhi asumsi tersebut ($N-M$) dan nilai yang memenuhi nilai tersebut (M). Nilai yang tidak memenuhi *threshold* tersebut yang menjadi nilai probabilitas longsor. Secara matematis ditulis sebagaimana berikut:

$$PF = \frac{(N-M)}{N}$$

Dimana:

PF = Nilai probabilitas longsor

(*probability of failure*)

($N-M$) = Jumlah nilai yang tidak memenuhi asumsi $FS > 1$

M = Jumlah nilai yang memenuhi asumsi $FS > 1$

N = Jumlah uji yang dilakukan

3. METODE

3.1 Identifikasi Kekar

Analisis studi longsor dilakukan pada Intrusi Andesit, Lingkar 3 Tambang Air Laya. Untuk analisis tersebut, diperlukan data diskontinuitas, sifat fisik, dan mekanik (kohesi, sudut gesek dalam, *modulus young* dan *poisson ratio*). Data diskontinuitas berupa data primer yang diambil dengan data *windows* disetiap lereng. Data keteknikan yang dipakai berupa data sekunder yang diambil dari analisis parameter *Roclab*.

Windows mapping (Nicholas & Sims, 2000, dalam Gumedé & Stacey, 2007) dilakukan untuk mengidentifikasi diskontinuitas dengan mengukur proyeksi diskontinuitas tiap jarak tertentu dengan *windows* 1m x 1m. Seluruh data yang dipakai harus mampu mewakili karakteristik daerah penelitian dengan tepat. Penentuan titik lokasi pertama-tama ditentukan terlebih dahulu, kemudian tiap-tiap diskontinuitas tersebut dicatat jenisnya, dip dan arahnya, serta dimensinya. Data diskontinuitas yang

nanti dipakai untuk analisis kinematika ialah diskontinuitas yang diasumsikan mewakili daerah penelitian, sehingga mencakup bukit Intrusi Andesit pada Lingkar 3 Tambang Air Laya.

3.2 Analisis Kinematika

Analisis kinematika bertujuan untuk menentukan model longsoran yang paling mungkin. Mekanisme pergerakan harus dipahami dahulu sebelum melakukan analisis faktor stabilitas. Data yang dipakai untuk tahap ini termasuk didalamnya data diskontinuitas dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, seperti: data struktur pada lereng, aspek lereng, dan sudut gesek dalam yang telah diestimasi sebelumnya berdasarkan data yang telah ada.

Pemodelan stereonet dari data mapping menggunakan tiap set diskontinuitas yang ada, dengan *windows* 1m x 1m. Kemudian setelah data diskontinuitas selesai dimasukkan, aspek lereng termasuk *upper face* diinput dalam stereonet. Dari pemodelan stereonet tersebut, mekanisme pergerakan longsoran dapat ditentukan dengan mengacu pada referensi Wyllie & Mah (2004).

3.3 Faktor Keamanan Kesetimbangan batas

Dalam perhitungan *wedge*, fungsi r dan d diberikan penyesuaian agar sejalan dengan jenis longsoran yang terjadi. Hoek & Bray (1973), dalam Wyllie & Mah (2004), memberikan penyesuaian rumus untuk bentuk longsoran *wedge* dimana faktor geometri menjadi bagian dalam perhitungan:

$$FS = \frac{3}{\gamma_r H} (c_A X + c_B Y) + \left(A - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} X \right) \tan \phi_A + \left(B - \frac{\gamma_w}{2\gamma_r} Y \right) \tan \phi_B$$

Dimana,

$$\begin{aligned} X &= \frac{\sin \theta_{24}}{\sin \theta_{45} \cos \theta_{2,na}} & A &= \frac{\cos \psi_a - \cos \psi_b \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}} \\ Y &= \frac{\sin \theta_{13}}{\sin \theta_{35} \cos \theta_{1,nb}} & B &= \frac{\cos \psi_b - \cos \psi_a \cos \theta_{na,nb}}{\sin \psi_5 \sin^2 \theta_{na,nb}} \end{aligned}$$

Parameter X , Y , A , dan B diatas didapatkan dari perhitungan sudut berdasarkan sudut-sudut titik potong pole, sudut-sudut proyeksi dari bidang diskontinuitas A (yang lebih landai) dan bidang diskontinuitas B , juga arah

pergerakan longsor yang seluruhnya ada dalam model kinematika.

3.5 Metode Monte Carlo

Variabel acak yang akan diinput dalam uji Monte Carlo dihasilkan menggunakan *Crystal Ball* dengan mengacu pada nilai minimum dan maksimum tiap nilai parameter uji. Jumlah dari variabel acak tiap parameter uji tersebut harus sesuai dengan jumlah uji yang akan dilakukan, yaitu 10000 kali dengan asumsi bahwa semakin banyak uji yang dilakukan, maka perhitungan Monte Carlo akan semakin akurat dengan tingkat *Confident level* 95%.

Berdasarkan Gibson (2011), tiap tingkat keyakinan memiliki nilai baku *error* persebaran probabilitas tersendiri. Nilai baku tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai rentang probabilitas untuk tiap longsoran menggunakan persamaan frekuensi nilai uji.

Ada tiga kategori resiko ditambah satu kategori khusus untuk kategori resiko yang diajukan, sesuai dengan nilai probabilitas yang didapat yaitu: Kategori 1, jika longsoran pada lereng bisa mempengaruhi keberlangsungan operasi dan keselamatan pit ($PoF < 5\%$); Kategori 2, Jika longsoran pada lereng memberikan dampak pada biaya dan keselamatan ($PoF < 15\%$); Kategori 3, jika longsoran tidak memberikan dampak pada biaya, dimana pengaruh keselamatan minimum ($PoF < 30\%$); Kategori khusus, lereng hanya berlaku untuk jangka waktu yang amat sangat singkat, atau untuk lereng yang tidak ada aktivitas sama sekali ($PoF \geq 30\%$)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Secara Umum pada daerah penelitian terdapat intrusi batuan beku andesit, dengan kondisi segar-sangat lapuk. Pengamatan litologi batuan andesit dilakukan pada skala jauh (singkapan) dan dekat (*windows*). Dilakukan deskripsi batuan andesit dengan warna segar abu-abu terang warna lapuk abu-abu kecoklatan, indeks warna mesokratik, ukuran mineral

porfiritik, inequigranular, holokristalin, hipidiomorf, dengan komposisi mineral tersusun dari 15% piroksen, 74% plagioklas, 7% kuarsa, dan 4% mineral lain, struktur berupa intrusi. Didapatkan bidang diskontinuitas pada batuan dalam bentuk kekar.

Pada setiap lereng dilakukan pengukuran kekar dengan *windows mapping* (Nicholas & Sims, 2000, dalam Gumedé & Stacey, 2007) dengan luas 1x1m, dimana data yang diambil berupa strike-dip kekar, jarak antar kekar, kondisi kekar, dan kerapatan kekar. Diperoleh data *windows* kekar berjumlah 10 dari 3 lereng dengan total kekar 239.

Tabel 4.1 Parameter kohesi dan sudut geser dalam dari data *Hammer Test* batuan Andesit Lingkar 3 Tambang Air Laya yang telah diolah menggunakan *Roclab*

Nilai	Variabel	
	Kohesi (T/m ²)	Sudut Geser dalam (°)
Max	8,371	48,689
Min	1,052	15,662
Average	3,486	32,444
Median	2,476	32,571
Standar Deviasi	2,309	8,226

Data kekar yang diambil berdasarkan *windows* 1x1m dilakukan pada setiap lereng dengan jumlah 2-5 *windows* tergantung pada dimensi lereng dan keterdapatannya singkapan. Parameter yang digunakan sebagai variabel dalam perhitungan metode monte carlo, yaitu kohesi dan sudut geser dalam. Akan tetapi data dari laboratorium tidak dapat di pakai pada perhitungan kesetimbangan batas dan probabilitas Monte Carlo dengan anggapan nilai UCS mewakili kekuatan tekan pada *intact rock* sehingga menghasilkan nilai kohesi untuk *intact rock*. Sedangkan yang dibutuhkan untuk perhitungan stabilitas kesetimbangan batas yang akan dilakukan ialah kohesi antar kekar bidang diskontinuitas.

Sehingga dilakukan pengolahan *Roclab* untuk menentukan nilai dari kohesi dari sudut geser dalam di bidang diskontinuitas. Dimana pada setiap lereng memiliki kohesi dan sudut-geser dalam yang berbeda-beda tergantung pada nilai sig ci (nilai kuat tahan batuan), dilakukan agar dapat merepresentasikan kondisi di lapangan di lakukan pengujian palu (*Hammer Test*) di bidang diskontinuitasnya dengan anggapan bahwa nilai sig ci yang didapatkan merupakan nilai dari bidang diskontinuitasnya, parameter *intact rock* (mi), GSI (*Geological Strength Index*), dan D (*Disturbanced Factor*). *Disturbanced Factor* menggunakan nilai 0,7 dikarenakan faktor pengganggu dapat terjadi akibat proses ekskavasi batuan dibawahnya.

Tabel 4.2 Parameter kohesi dan sudut geser dalam yang telah diolah menggunakan *Roclab* dan dilakukan *Back Analysis* di Lereng C

Nilai	Variabel	
	Kohesi (T/m ²)	Sudut Geser dalam (°)
Max	8,371	48,689
Min	0,390	15,662
Average	2,141	32,444
Median	1,540	32,571
Standar Deviasi	2,204	8,226

Dari olahan parameter tersebut didapatkan kohesi dan sudut gesek pada setiap lereng (lihat **Tabel 4.1**). Untuk kemudian dipertimbangkan apakah akan dipakai sebagai patokan variabel acak pada uji Monte Carlo atau tidak. Setelah dilakukan perhitungan berdasarkan kohesi dan sudut geser dalam didapatkan beberapa lereng tidak merefleksikan kondisi dilapangannya, yaitu lereng C. pada kondisi disekitar lereng-lereng tersebut terdapat longsor dan pada lereng tersebut ditemui ciri-ciri longsor. sehingga perlu dilakukan *back analysis* terhadap nilai kohesi dan sudut geser dalam di lereng C (**Tabel 4.2**)

4.2 Pembahasan

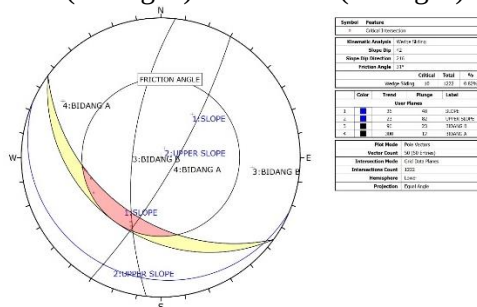
4.2.1 Analisis Kinematika

Pemodelan stereonet menggunakan data diskontinuitas dan geometri lereng, dimana data diskontinuitas terukur dapat berupa set kekar. Masing-masing diskontinuitas dicatat jenisnya, diukur dip dan arah dip-nya, spasinya, ukurannya, kondisi permukaannya, kondisi airnya, kondisi isiananya, litologinya, serta kekuatannya.

Untuk analisis kinematika yang dipakai ialah dip dan arah dip-nya, dimana atribut diskontinuitas dijadikan pertimbangan apakah diskontinuitas tersebut dipakai untuk analisis atau tidak. Analisis Kinematika terbagi menjadi tiga bagian lereng pada titik A-C, yaitu titik A, B, dan C

A. Analisis Kinematika Lereng A

Diskontinuitas untuk analisis kinematika pada titik A telah diseleksi dan diasumsikan signifikan terhadap pergerakan massa lereng dengan sudut gesek dalam sebesar $31,51^\circ$. Diasumsikan bahwa longsoran *wedge* mengacu pada Wyllie & Mah (2004), terjadi pada bidang set kekar 30/78 (bidang A) dan 186/67 (bidang B).

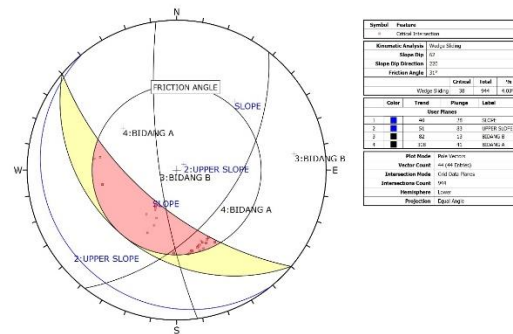


Gambar 4.1 Model kinematika lereng A didapatkan longsoran *wedge*

Perlu diketahui bahwa titik perpotongan kedua bidang tersebut bersentuhan dengan batas lingkaran sudut gesek dalam, sehingga potensinya mungkin kecil. Berikut ini (**Gambar 4.1**) merupakan hasil plot pada stereonet untuk pasangan set kekar 30/78 dan 186/67.

B. Analisis Kinematika Lereng B

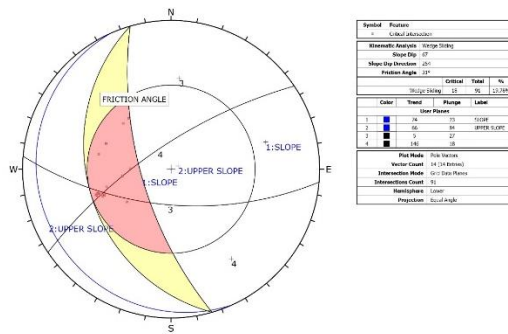
Diskontinuitas untuk analisis kinematika pada titik B telah diseleksi dan diasumsikan signifikan terhadap pergerakan massa lereng dengan sudut gesek dalam sebesar $31,51^\circ$. Diasumsikan bahwa longsoran *wedge* mengacu pada Wyllie & Mah (2004), terjadi pada bidang set kekar 38/49 (bidang A) dan 172/77 (bidang B). Perlu diketahui bahwa titik perpotongan kedua bidang tersebut hampir bersentuhan dengan batas lingkaran sudut gesek dalam, sehingga potensinya akan kecil. Berikut ini (**Gambar 4.2**) merupakan hasil plot pada stereonet untuk pasangan set kekar 38/49 dan 172/77.



Gambar 4.2 Model kinematika Lereng B didapatkan longsoran *wedge*

C. Analisis Kinematika Lereng C

Diskontinuitas untuk analisis kinematika pada titik C telah diseleksi dan diasumsikan signifikan terhadap pergerakan massa lereng dengan sudut gesek dalam sebesar $31,51^\circ$. Diasumsikan bahwa longsoran *wedge* mengacu pada Wyllie & Mah (2004), terjadi pada bidang set kekar 95/63 (bidang A) dan 236/72 (bidang B). Perpotongan bidang kekar tersebut berada pada daerah kritis, sehingga diasumsikan dapat mewakili kondisi lereng secara keseluruhan. Berikut ini (**Gambar 4.3**) merupakan hasil plot pada stereonet untuk pasangan set kekar 95/63 dan 236/72



Gambar 4.31 Model kinematika lereng C didapatkan longsoran *wedge*

4.2.2 Probabilitas Monte Carlo

Uji Monte Carlo dilakukan berdasarkan perumusan stabilitas Hoek & Bray (1973), dengan *threshold*: N merupakan jumlah uji dan N-M jika $FS \leq 1$. Jumlah variabel acak tiap parameter yang digunakan sesuai dengan jumlah uji yaitu 10000 kali.

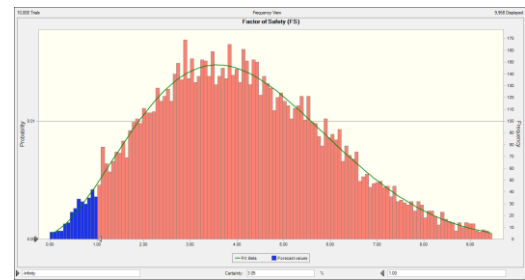
A. Probabilitas Monte Carlo di Lereng A

Lereng A diasumsikan memiliki bentuk longsoran *wedge* sehingga konstanta geometris harus diketahui. Dari pengolahan pada *Dips*, didapatkan hasil masing-masing parameter stereonet.

Tabel 4.3 Nilai *error* dan probabilitas longsor lereng A di Lingkar 3 Tambang Air Laya

Nilai	Ketinggian 20m
Error (α)	0,107686
PF'	2,721559
PF''	3,378441
PF	2,72 – 3,38 %

Setelah parameter yang dibutuhkan sudah lengkap, maka dari perhitungan tersebut didapatkan PF ketinggian 20m = 3,05% , dipakai tingkat confident 95% . Maka diasumsikan simpangan deviasi normal ketinggian 20m = 1,91. Untuk mencari tingkat *error* diambil dari persamaan Monte Carlo didapatkan data seperti berikut (**Tabel 4.3**).



Gambar 4.4 Grafik nilai probabilitas Monte Carlo Ketinggian 20m di lereng A Lingkar 3 Tambang Air Laya

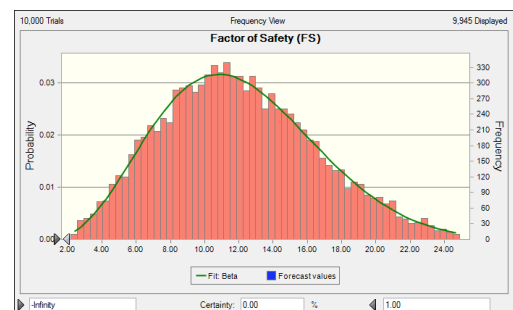
B. Probabilitas Monte Carlo di Lereng B

Lereng B diasumsikan memiliki bentuk longsoran *wedge* sehingga konstanta geometris harus diketahui. Dari pengolahan pada *Dips*, didapatkan masing-masing parameter stereonet.

Tabel 4.4 Nilai *error* dan probabilitas longsor lereng B di Lingkar 3 Tambang Air Laya

Nilai	Ketinggian 2,5m
Error (α)	0
PF'	0
PF''	0
PF	0 %

Setelah parameter yang dibutuhkan sudah lengkap, maka dari perhitungan tersebut didapatkan PF ketinggian 2,5m = 0%. Dipakai tingkat confident 95%. Maka diasumsikan simpangan deviasi normal ketinggian 2,5m = 4,57. Untuk mencari tingkat *error* diambil dari persamaan Monte Carlo didapatkan data seperti berikut (**Tabel 4.4**).



Gambar 4.5 Grafik nilai probabilitas Monte Carlo Ketinggian 2,5m di lereng B Lingkar 3 Tambang Air Laya

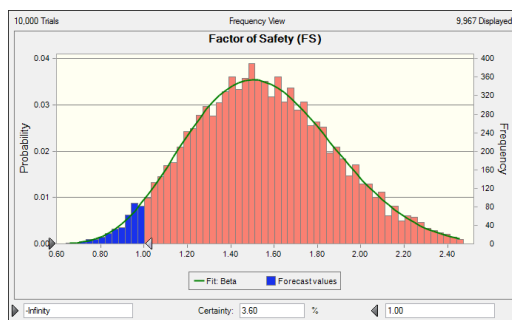
C. Probabilitas Monte Carlo di Lereng C

Lereng C diasumsikan memiliki bentuk longsor *wedge* sehingga konstanta geometris harus diketahui. Dari pengolahan pada *Dips*, didapatkan masing-masing parameter stereonet.

Tabel 4.5 Nilai *error* dan probabilitas longsor lereng C di Lingkar 3 Tambang Air Laya

Nilai	Ketinggian 32m
Error (α)	0,017077
PF'	3,538524
PF''	3,661476
PF	3,54 – 3,66 %

Setelah parameter yang dibutuhkan sudah lengkap, maka dari perhitungan tersebut didapatkan $PF = \text{ketinggian } 32\text{m} = 3,6\%$ PF , dipakai tingkat confident 95% maka diasumsikan simpangan deviasi normal ketinggian 32m = 0,33. Untuk mencari tingkat *error* diambil dari persamaan Monte Carlo didapatkan data seperti berikut (**Tabel 4.5**).



Gambar 4.62 Grafik nilai probabilitas Monte Carlo Ketinggian 32m di lereng C Lingkar 3 Tambang Air Laya

5. KESIMPULAN

Pada lereng A – C didapatkan jenis longsor berupa *wedge*. Longsor *wedge* tercapai apabila didapatkan dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan pada satu titik dengan trend yang cukup sejajar dengan arah kemiringan lereng.

Berdasarkan Probabilitas Monte Carlo didapatkan Kategori 1, 2 dan 3 dapat

berlaku untuk lereng A,B, dan C dengan kondisi ketinggian aktual lapangan.

Tabel 5.1 Tabel acuan PoF dan kategori resiko, dimodifikasi dari SRK Consulting (2006) dan Kirsten (1983), dalam Read & Stacey (2009)

Lereng	Nilai Probabilitas longsor				Kategori
	Kurang dari			Lebih dari	
	5 (%)	15 (%)	30 (%)	30 (%)	
A	Ya	Ya	Ya	-	1,2,3
B	Ya	Ya	Ya	-	1,2,3
C	Ya	Ya	Ya	-	1,2,3

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya artikel ilmiah ini penulis berterima kasih kepada bapak Dr. Ir. Zufaldi Zakaria, M.T. dan Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc. yang telah membimbing penulis dalam pembuatan artikel ilmiah ini. Serta pembimbing teknis lapangan Aldy Pratama Iswardy, S.T., M.Sc. yang membimbing penulis selama berada di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Irwandy. 2016. *Geoteknik Tambang (Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng)*. Jakarta : Penerbit PT Gramedia Pustaka Utama.
- De Coster, G.L. 1974. *The geology of Central and South Sumatra Basins, Proceedings 3rd Annual Convention Indonesian Petroleum Association*, p: 77-110.
- Deere, D U & Deere, D W. 1988. *The RQD index in practice, Proc. Symp. Rock Class. Engineering Purposes, ASTM Special Technical Publications 984*. Philadelphia. Pg. 91-101.
- Djakamihardja, A.S., & Soebowo, E. 1996. *Studi kemantapan lereng batuan pada jalur jalan raya Liwa-Krui*,

- Lampung Barat: Suatu pendekatan metoda empiris, *Prosiding Kemantapan Lereng Pertambangan Indonesia II*. Jurusan Teknik Pertambangan, ITB, hal. 153-163.
- Gafore, Cobrie, & Purnomo. 1986. "Peta Geologi Regional Lembar Lahat Sumatra Selatan".
- Gibson, W. 2011. *Probabilistic Methods for Slope Analysis and Design*, *Australian Geomechanics*, Vol 46 No 3 2011.
- Gumede & Stacey. 2007. *Measurement Of Typical Joint Characteristics In South African Gold Mines And The Use Of These Characteristics In The Prediction Of Rock Falls*. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Vol. 107. Tersedia di : <https://www.saimm.co.za/Journal/v107n05p335.pdf> (Diakses 7 Maret 2018 Pukul 10:13 WIB)
- Hoek E. Torres C. C. Corkum B. 2002. *Hoek-Brown Failure Criterion 2002 Edition* hlm. 1-7
- Hoek, E, Carter, T. G., & Diederich, M. S. 2013. *US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium held in San Francisco, CA USA, June 23 – 26*.
- Hun, J. 2006. *Modeling Risk: Applying Monte Carlo Simulation, Real Options Analysis, Forecasting, and Optimization Techniques*. John Wiley & Sons, Inc: New Jersey.
- Iswardi, A. P. 2017. PPT "Geotechnical And Geological Aspects : Are They Important in Relation to The Land Preparation For Mine Reclamation ?". Global Innovation Initiative South East Asia Regional Workshop On Mine Reclamation And Water Management. PT Bukit Asam. Bogor 21-23 November, 2017, 44 hal.
- Koesoemadinata, R.P. & Hardjono. 1978. *Tertiary Coal Basins of Indonesia, Prepared for the 10th Ann. Of CCOP, Geology Survey of Indonesia*.
- Marinos, P. & Hoek, E. 2000. *GSI: A Geological Friendly Tool for Rock Mass Strength Estimation. Proceedings of the GeoEng 2000 at the International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, 19-24 November 2000, 1422-1446.
- Mithresh, K. P., Amalesh, J., Krishna, A. M., Dey, A. , Sreedeeep, S. 2017. *Stability assessment of a rock slope using finite element modelling*. International Conference on Geotechniwues for Infrastructure Project.(Tersedia di <http://www.iitg.ac.in/arindam.dey/Publications%20Corner/2017/Pushpan%20et%20al,%20GIP,%202017.pdf>. (Diakses : 11 Maret 2018 Pukul 19:30 WIB)
- Palmstrom,A. 2005. *Measurement of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD): Tunnel and Underground*. Space Technology, Norway.
- Pulunggono, A., Haryo, A., & Kosuma, C.G. 1992. *Pre-Tertiary and Tertiary Fault systems as a framework of the South Sumatera Basin; A Study of SAR-MAPS*,*Proceedings Indonesian Petroleum Association*, 21 th. Annual Convention.
- Read, J. & Stacey, P. 2009. *Guidelines for Open Pit Slope Design*, Collingwood: Csiro Publishing
- Singh, B. Goel, R. K. 2011. *Engineering Rock Mass Classification*, Oxford: Elsevier Inc.
- Wedge Filure Analysis - Kinematic Analysis on Stereonet. Rockscience. Tersedia di: https://support.rockscience.com/hc/en_us/article_attachments/202223417/Wedge_Failure.pdf (Diakses: 07 Maret 2018 Pukul 12:15 WIB)
- Wyllie, D. C. & Mah, C. W. 2004. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining 4th Edition*, New York: Taylor & Francis Group
- Zakaria, Z. 2011. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Laboratorium Geologi Teknik, Program Studi

Teknik Geologi, Fakultas Tek-nik Geologi, Unpad, 37 hal. Tersedia di : <http://blogs.unpad.ac.id/zufialdizakaria/files/2009/11/zufialdi-zakaria-Analisis-Kestabilan-Lereng-20111.pdf> (Diakses 5 Maret 2018 Pukul 15:05 WIB)

Zakaria, Z. & Hirnawan, F. 2009. *Geoteknik dan Geomekanik*. Universitas Padjadjaran. Tersedia di : <http://blogs.unpad.ac.id/zufialdizakaria/files/2009/11/geomekanik.pdf> (Diakses: 23 Februari 2018 Pukul 09:05 WIB)