



ANALISIS BENTUK GEOMETRI TERHADAP STABILITAS LERENG PADA TAMBANG TERBUKA DARI ASPEK GEOTEKNIK

Lisa Fianti^{a,*}, Munirwansyah^b, Halida Yunita^b

^aMagister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

*Corresponding author; email: l3ishya29@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><i>Article History:</i> Received 18 April 2020 Accepted 15 June 2020 Online 31 June 2020</p> <p><i>Keywords:</i> Stability Slope geometry Failure pattern Safety factor.</p>	<p>Aceh Province is one of the coal producers, especially Sumber Batu Village in Meurebo District, West Aceh Regency. In the implementation of coal mining, it is necessary to pay attention to the slope stability of open-pit mining to identify and estimate the possibility of landslides. For this reason, the author conducted research in analyzing the geometric shape of the slope stability with the slope variance of modeling the reduction of the existing angle $\alpha_{eks} - 10\%$ to the depth of three layers of soil 11 meters. The 1st layer of soil is 1.5 meters, the second layer of soil is 2.5 meters, and the third layer of soil is 7 meters. Slope stability is strongly influenced by the geometric shape of the slope and the strength of soil parameters. To identify the stability of the slope against slope failure, computationally performed using the finite element method with Plaxis software as the reference for the value of $FK > 1.25$, which is considered safe/stable, meaning that collapse rarely occurs. In this research, primary data is used in the form of direct observation in the field, namely taking soil samples to obtain soil data in the form of soil physical properties and soil mechanical properties into soil parameter data, which is tested in the soil laboratory. Secondary data used are map data, boring data, and Sondir data. Soil parameter data were processed using Plaxis software. The results of the slope stability analysis showed that by modeling the geometric shape of the slope ($\alpha_{eks} - 10\%$) on the open slope of a coal mine with a soil depth of 11 meters, the FK value was 3.60. From the results of the FK scores, it shows that the slope of the slope is $3.60 > 1.25$ above the reference value of safe/stable FK. The FK value is 0.2 greater than the FK existing geometry. The conclusion of this study is that geometric shapes play an important role in determining the stability of an open coal pit excavation slope. The smaller the slope angle, the greater the FK value obtained, or the more gentle the slope, the higher the safety value of a slope.</p> <p>©2020 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved</p>

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil batubara tepatnya di Provinsi Aceh Desa Sumber Batu Kecamatan Meurebo Kabupaten Aceh Barat. Perencanaan tambang terbuka sangat perlu dilakukan kajian teknis menganalisis bentuk geometri terhadap stabilitas lereng dari aspek geoteknik dalam mengidentifikasi dan memperkirakan terjadinya kelongsoran pada galian tambang batubara. Kelongsoran pada lereng tidak hanya mengganggu produksi batubara namun juga berdampak pada keselamatan pekerja dan lingkungan sekitarnya. Lereng-lereng yang terbentuk dari proses penambangan dapat menimbulkan kelongsoran pada dinding lereng yang dipengaruhi oleh faktor internal yaitu daya ikat (kohesi) tanah yang lemah sehingga butiran-butiran tanah terlepas dari ikatannya dan bergerak ke bawah

disertai butiran yang ada disekitarnya dengan membentuk massa tanah yang lebih besar. Untuk faktor eksternal yaitu lereng jenuh akibat buruknya sistem penambangan dan implementasi DED (*detail engineering design*) yang tidak sesuai dengan kondisi penambangan batubara. Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah), tanah umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya-gaya yang timbul dari dalam. Jika mengalami perubahan keseimbangan akibat penggalian, erosi atau aktifitas lainnya, maka tanah akan berusaha mencapai keadaan yang baru secara alamiah. Perlakuan ini berupa proses degradasi atau pengurangan beban terutama dalam bentuk longsoran atau sampai tercapai keadaan keseimbangan yang baru. Pada tanah dalam keadaan tidak terganggu (alamiah) telah bekerja tegangan-tegangan vertical, horizontal dan tekanan air pori yang memiliki peranan penting dalam kestabilan lereng. Stabilitas lereng erat kaitannya dengan longsor, jika kuat geser melebihi kuat izin geser tanah setempat maka lereng akan mengalami kelongsoran.

Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan analisis stabilitas lereng tambang batubara untuk mengidentifikasi kelongsoran, *slope failure dan safety factor* menggunakan metode elemen hingga dengan software Plaxis. Pada penelitian ini fokus penanganan pada bentuk geometri kemiringan sudut α ks - 10% dari kondisi existing kedalamam lapisan tanah 11 meter. Nilai faktor keamanan (FK) yang dijadikan acuan adalah $FK > 1,25$ artinya keruntuhan lereng jarang terjadi (Bowles, 1993:547). Nilai faktor keamanan (FK) yang diperoleh dari analisis stabilitas lereng dijadikan dasar dalam menyusun DED (*detail engineering design*) bentuk geometri terhadap lereng tambang batu bara, perencanaan yang efektif dan efisien serta upaya mitigasi.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Penambangan Open Pit Mining

Tebay (2011) menyatakan *Open Pit Mining* adalah penambangan secara terbuka. Metode ini dilakukan dengan cara mengupas terlebih dahulu lapisan material pentup batubara kemudian dilanjutkan dengan menambang batubaranya. Penambangan tipe *Open Pit Mining* biasanya dilakukan pada endapan batubara yang mempunyai lapisan tebal dengan arah batubara miring kebawah dan dilakukan dengan menggunakan beberapa *bench* atau jenjang.

2.2 Parameter Desain Kemiringan Jenjang (*Slope*) Penambangan Batubara

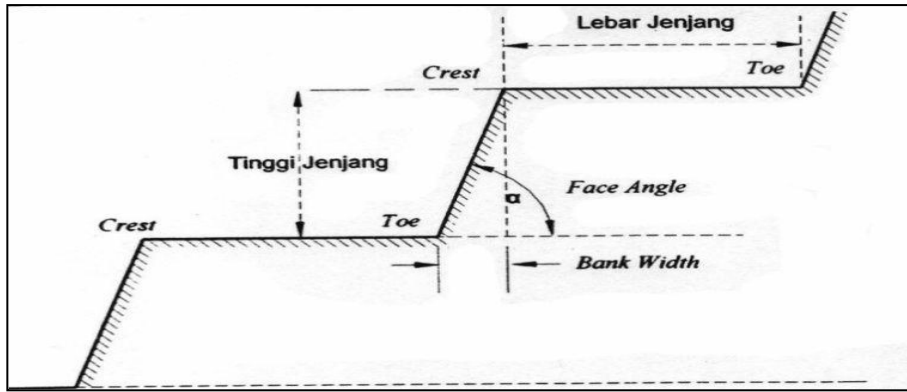
Tebay (2011) menyatakan bahwa pada awalnya sebuah desain pit dibuat dengan *overall slope* sebesar 45 derajat dan kemudian dimodifikasi berdasarkan informasi geoteknik dari material yang ada dalam pit tersebut. *Slope* (kemiringan jenjang) dapat diatur pada kemiringan 30-35 derajat untuk *overburden*, meningkat 35-40 derajat untuk batuan yang lapuk dan hingga 55 derajat untuk batuan. Kemiringan lereng kurang dari 60 derajat pada kedalaman 65 m dan kurang dari 40 derajat pada kedalaman 300 m.

2.3 Tinggi Jenjang

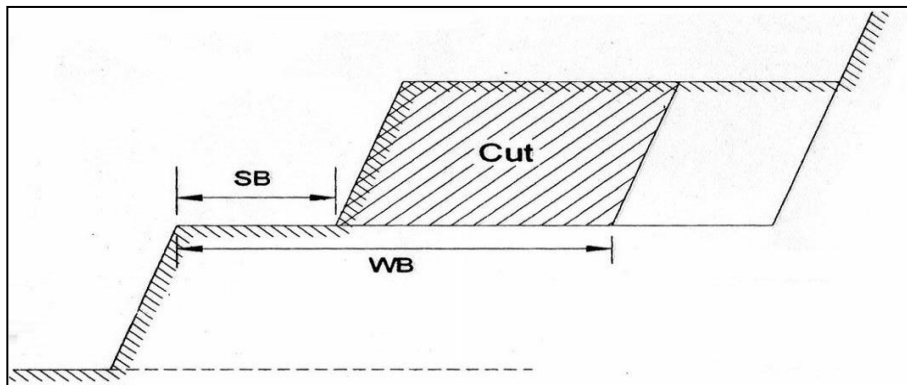
Tebay (2011) menyatakan bahwa penggalian material sebaiknya dilakukan dari bagian atas material, agar berada pada posisi kerja yang aman (untuk menghindari longsoran saat penggalian material). Komponen dasar tambang terbuka adalah bagian jenjang seperti diperlihatkan dalam gambar 1 dan 2.

2.4 Sudut Lereng

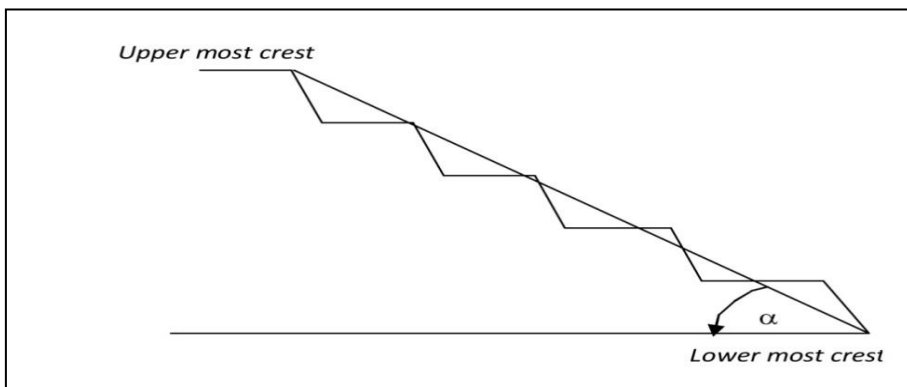
Tebay (2011) sudut lereng antar jalan (*inter-ramp slope angle*) adalah sudut lereng gabungan beberapa jenjang diantara dua jalan angkut. Sudut lereng keseluruhan (*overall slope angle*) adalah sudut yang sebenarnya dari dinding pit keseluruhan, dengan memperhitungkan jalan angkut, jenjang penangkap dan semua profil lain di dinding jenjang. *Overall slope angle* merupakan sudut kemiringan dari keseluruhan jenjang yang dibuat pada front penambangan. Kemiringan ini diukur dari *crest* paling atas sampai dengan *toe* paling akhir dari *front* penambangan dan seperti diperlihatkan dalam Gambar 3.



Gambar 1. Crest dan Toe
(Sumber: Tebay, 2011)



Gambar 2. Jenjang Kerja/Safety Bench
(Sumber: Tebay, 2011)



Gambar 3. Overall Slope Angle
(Sumber: Tebay, 2011)

2.5 Stabilitas Lereng

Bowles (1986) menyatakan bahwa lereng juga dapat terbentuk secara alamiah seperti pada bukit dan tebing sungai. Dalam setiap kasus, tanah yang tidak datar akan menghasilkan komponen gravitasi dari berat yang cenderung menggerakkan massa tanah dari elevasi yang lebih rendah. Rembesan dapat merupakan pertimbangan yang penting dalam Bergeraknya tanah apabila terdapat air. Gaya-gaya penyebab kelongsoran seluruh massa tanah yang akan terakumulasi pada bidang-bidang longsor yang umum terbentuk secara alamiah. Suatu gerakan akan terjadi apabila tahanan geser pada setiap permukaan bidang runtuh yang terjadi lebih besar dari tegangan geser izin yang bekerja. Tahanan geser tergantung pada kuat geser tanah dan faktor-faktor alamiah lainnya, seperti terdapat air dari rembesan atau filtrasi

curah hujan serta akar-akar, serpih-serpih es, tanah beku, ataupun batuan yang telah mengalami gangguan disepanjang permukaan gelincirnya. Walaupun demikian faktor utama yang perlu ditinjau adalah kuat geser tanahnya dapat dihitung dengan persamaan (1).

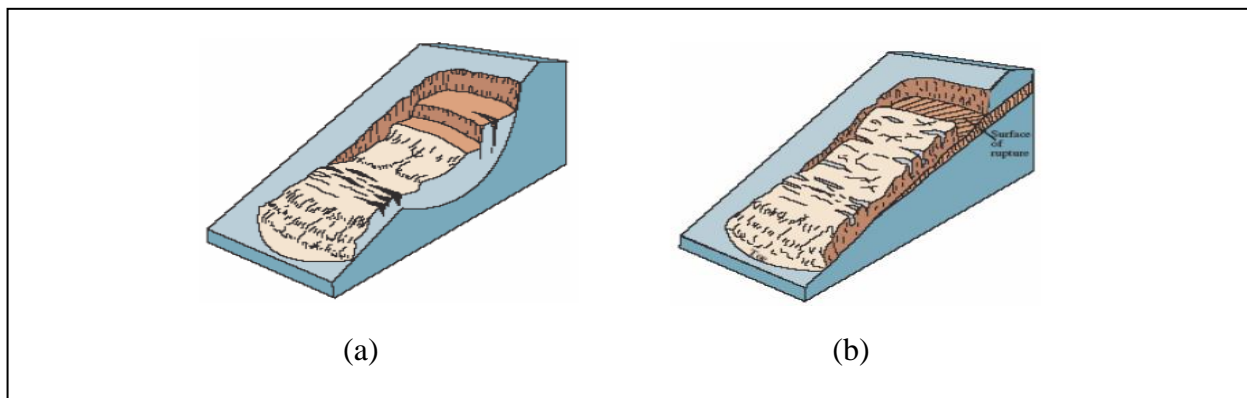
$$\tau_f = c + (\sigma - u) \tan \theta \quad (1)$$

di mana:

- τ_f = Kuat Geser Tanah (kg/cm^2)
- c = Kohesi (kg/cm^2)
- θ = Sudut Geser Tanah ($^\circ$)
- σ = Tegangan normal rata-rata pada permukaan bidang longsor (kg/cm^2)
- u = Tegangan air pori (kg/cm^2)

2.6 Bentuk Keruntuhan Lereng

Arief (2007) menyatakan bahwa keruntuhan lereng berdasarkan pergerakan massa runtuh sebagai gelinciran (*sliding*), runtuh (*falling*), gulingan (*toppling*) dan aliran (*flowing*). Gelinciran (*sliding*) merupakan pergerakan massa ke arah bawah dan ke luar yang disebabkan oleh tegangan geser yang bekerja pada permukaan runtuh melebihi tahanan geser yang dimiliki oleh material pada permukaan runtuh. Dua tipe utama dari longsor tipe gelinciran, yaitu:

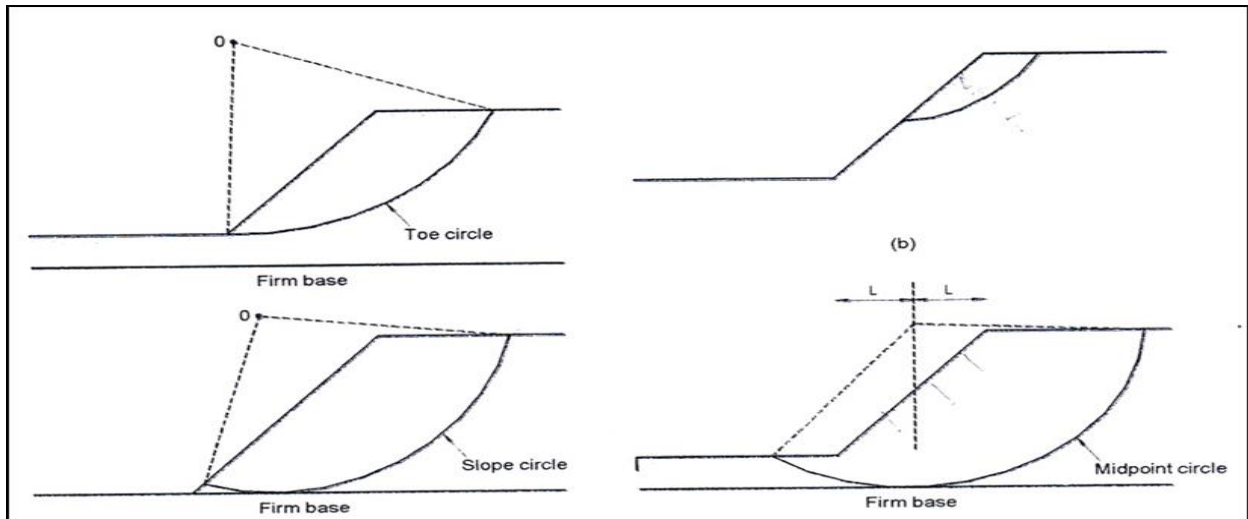


Gambar 4. Sketsa Tipe Gelinciran; (a) Gelinciran Rotasional, (b) Gelinciran Translasiional
(Sumber: Arief, 2007)

Runtuhan (*falling*) merupakan jatuhnya bongkahan batuan yang terlepas dari lereng yang terjal. Gulingan. (*topple*) adalah tergulingnya beberapa blok-blok batuan yang diakibatkan oleh momen guling yang bekerja pada blok-blok batuan tersebut. Longsor tipe ini biasanya terjadi pada lereng terjal atau bahkan vertikal yang memiliki bidang tidak menerus yang hampir tegak lurus. Tipe aliran (*flowing*), material bergerak ke arah bawah lereng seperti suatu cairan. Longsor tipe gelinciran dapat berubah secara bertahap menjadi suatu aliran apabila terjadi perubahan kadar air dan kecepatan selama pergerakan material.

2.7 Analisis Kestabilan Lereng

Imran (2014) menyatakan bahwa analisis kestabilan lereng cukup dibuat dengan pendekatan keseimbangan batas untuk mendapatkan nilai faktor keamanan terhadap keruntuhan - kelongsoran yang paling kecil. Berbagai cara tersedia untuk analisis ini, antara lain *ordinary slices*, *bishop*, *janbu*, *morgen stren-prise* dan *sarma*. Jenis-jenis keruntuhan dapat diperlihatkan dalam gambar 5.



Gambar 5. Jenis-Jenis Keruntuhan Lereng
 (Sumber: Imran, 2014)

Pada analisis tegangan efektif, kuat geser tanah didefinisikan sebagai:

$$\tau = c' + (\sigma_n - u)\tan\phi' \quad (2)$$

Di mana:

- τ = kuat geser tanah
- c' = kohesi efektif tanah
- ϕ' = sudut geser dalam efektif tanah
- σ_n = tegangan normal total
- u = tekanan air pori

Pada analisis tegangan total, parameter kekuatan tanah didefinisikan pada kondisi tegangan total, sedangkan tegangan air pori tidak diperhitungkan. Teori keseimbangan batas ini disusun berdasarkan asumsi-asumsi berikut:

1. Tanah yang berperilaku seperti material, Mohr-Coulomb.
2. Faktor keamanan komponen kohesi dan komponen sudut geser dalam adalah sama besar.
3. Faktor keamanan untuk semua irisan masa tanah adalah sama.

2.8 Konsep Faktor Keamanan

Analisis stabilitas lereng menggunakan persamaan (3) di mana angka faktor keamanan menggambarkan nilai keseimbangan antara gaya dorong yang mengakibatkan massa tanah bergerak dengan gaya geser yang termobilisasi menahan Bergeraknya massa tanah tersebut pada bidang gelincir (*potensial slip plane*).

$$FK = \frac{\tau_f}{\tau_d} \quad (3)$$

Di mana:

- τ_d = Kuat geser tanah yang ditimbulkan oleh berat massa yang bergerak (kg/cm^2)
- τ_f = Kuat geser yang termobilisasi pada saat runtuh (kg/cm^2)
- FK = Angka Keamanan terhadap kekuatan tanah.

Bowles (1993) menyatakan bahwa pada umumnya nilai faktor keamanan $FK \geq 1,25$ digunakan untuk desain normal agar memberikan perkiraan faktor keamanan dalam analisis stabilitas lereng. Hal ini penting untuk meyakinkan bahwa desain lereng aman dan untuk mencegah faktor yang tidak terduga selama analisis dan konstruksi seperti data yang salah, kesalahan analisis, kecakapan kerja dan pengawasan di lapangan yang kurang. Faktor keamanan berdasarkan studi keruntuhan lereng dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor keamanan berdasarkan Studi Keruntuhan

No.	Faktor Keamanan	Kondisi
1	$FK < 1,07$	Keruntuhan bisa terjadi
2	$FK < 1,25$	Keruntuhan pernah terjadi
3	$FK > 1,25$	Keruntuhan jarang terjadi

2.9 Konsep Program Plaxis

Plaxis merupakan sebuah program dalam bidang geoteknik yang menggunakan Metode Elemen Hingga untuk aplikasi geoteknik menggunakan model-model tanah untuk melakukan simulasi terhadap perilaku dari tanah. Program *Plaxis* mulai dikembangkan pada tahun 1987 oleh insinyur Belanda, Brinkgreve dan Vermeer di Universitas Delft (*Delft University of Technology*). *Plaxis* selalu menghasilkan model elemen hingga dalam bentuk dua dimensi dengan berdasarkan pada suatu model geometri. Parameter yang digunakan pada model Mohr-Coloumb adalah kohesi (c) yang mana program *Plaxis* dapat menangani model dengan nilai parameter kohesi (c) adalah nol, sudut geser (ϕ), sudut dilatansi (Ψ) di mana pada pasir sudut dilatansi tergantung pada kerapatan dan sudut geser, konstanta *modulus young* (E), dan *poison ratio* (ν) yang umumnya nilai *poison ratio* berkisar 0,3-0,4 tergantung pada jenis dan kondisi tanah. Pada penggunaan program *Plaxis* selama perhitungan digunakan analisa *undrained*. Dalam analisa *undrained*, tanah diasumsikan dalam keadaan *saturated* dan menggunakan asumsi *plane strain* (Brinkgreve dan Vermeer, 1998). Nilai modulus elastisitas tanah dalam keadaan *undrained* menurut Brinkgreve, et al (1998:434) dapat dihitung dengan rumus:

$$E_u = \frac{15.000 \times C_u}{IP} \quad (4)$$

dengan:

- E_u = Modulus elastisitas kondisi *undrained* (t/m^2);
- C_u = *Undrained shear strength* (t/m^2);
- IP = Indeks plastisitas (%).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada penambangan batubara di Desa Sumber Batu Kecamatan Meurebo Kabupaten Aceh Barat. Studi kasus pemilihan lokasi didasari penelitian sebelumnya oleh Febrianti (2015) dan tinjauan di lapangan terhadap bentuk geometri lereng.

3.2 Analisis Perhitungan dengan Software Plaxis 8.2

Perhitungan analisis software Plaxis terhadap bentuk geometri pada stabilitas lereng tambang terbuka dengan kemiringan sudut lereng α eks - 10%. Analisis bentuk geometri lereng ditinjau pada kedalaman galian 11 meter dari tiga (3) lapis tanah. Lapisan tanah satu adalah 1,2 meter, lapisan dua adalah 2,5 meter dan lapisan tiga adalah 7 meter.

Tahapan yang digunakan dalam analisis geometri stabilitas lereng menggunakan *Software Plaxis* adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan bentuk geometri lereng tambang terbuka dengan kemiringan sudut α eks - 10%.
2. Menyiapkan data parameter tanah hasil tinjauan langsung dilapangan dan pengolahan hasil uji laboratorium tanah.
3. Masukan data dalam software Plaxis (*input*): *general setting*, penggambaran model geometri, *boundary Conditions*, material data set, *mesh generation*.
4. Kalkulasi data (*calculation*).
5. Keluaran data.

Pada penelitian ini digunakan parameter tanah hasil tinjauan langsung di lapangan. Data Parameter tanah yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Tanah Lereng Tambang Terbuka

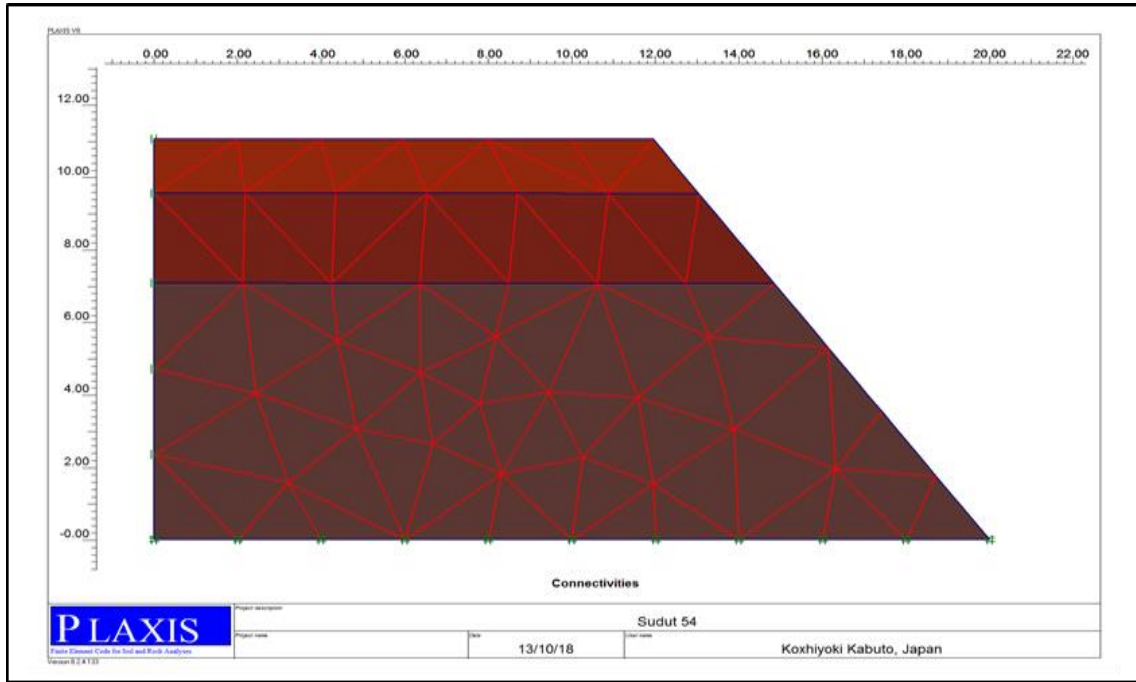
Parameter	Nama	Tanah dasar		Tanah timbunan	Satuan
		Lanau berpasir halus kunung 1,5 m	Lanau berpasir halus abu-abu tua 2,5 m	Lempung berpasir 7 m	
Material model	Model	MC	MC	MC	-
Type of behavior	Type	<i>Undrained</i>	<i>Undrained</i>	<i>Drained</i>	-
Dry soil weight	γ_{unsat}	8,64	6,75	10,78	kN/m ³
Wet soil weight	γ_{sat}	17,73	12,22	12,26	kN/m ³
Horizontal permeability	Kx	8.640E-04	8.640E-04	8.640E-03	m/day
Vertical permeability	Ky	8.640E-04	8.640E-04	8.640E-03	m/day
Young's modulus	E_{ref}	14709,97	9806,65	34323,27	kN/m ²
Poisson's ratio	ν	0,25	0,2	0,25	-
Cohesion	c	17,75	9,80	49,03	kN/m ²
Friction angle	ϕ	23,31	30,18	6,2	°
Dilatancy angle	ψ	0	0	0	°

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan Program *Plaxis*

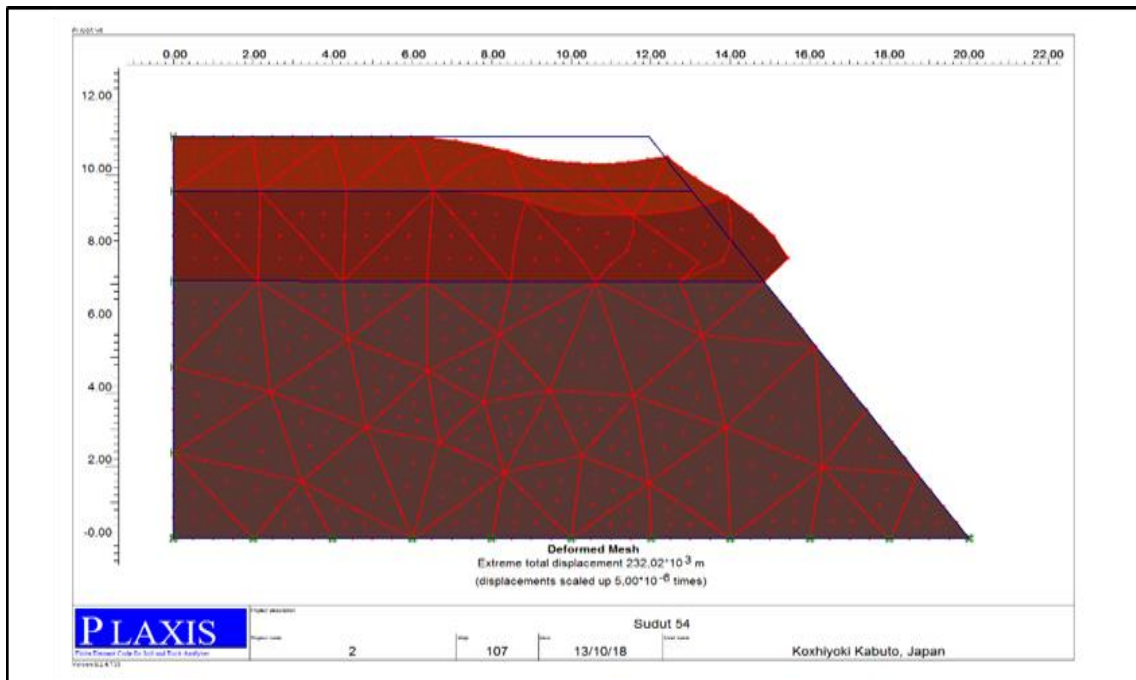
a. Hasil *Plaxis* bentuk *generate mesh* *Plaxis*

Hasil analisis bentuk geometri melalui perhitungan program *Plaxis* 8.2 berupa gambar ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar 6 menunjukkan titik-titik nodal yang membentuk segitiga yang saling berhubungan pada kemiringan lereng tambang batubara pada sudut α eks - 10%. Titik nodal yang dipilih yaitu titik nodal yang berbentuk segitiga yang saling berhubungan.



Gambar 6. Hasil Plaxis bentuk *generate mesh* Plaxis

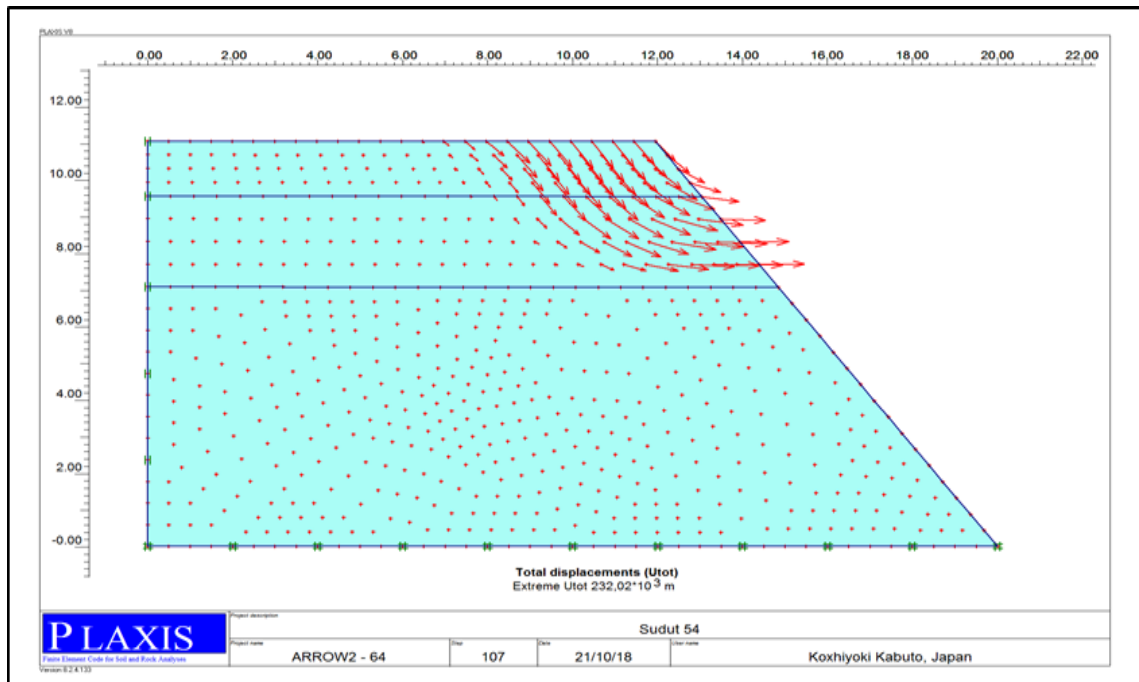
b. Hasil Plaxis *deformed mesh*



Gambar 7. Hasil Plaxis deformed mesh

Gambar 7 menunjukkan bentuk keruntuhan lereng pada sudut α eks - 10%.

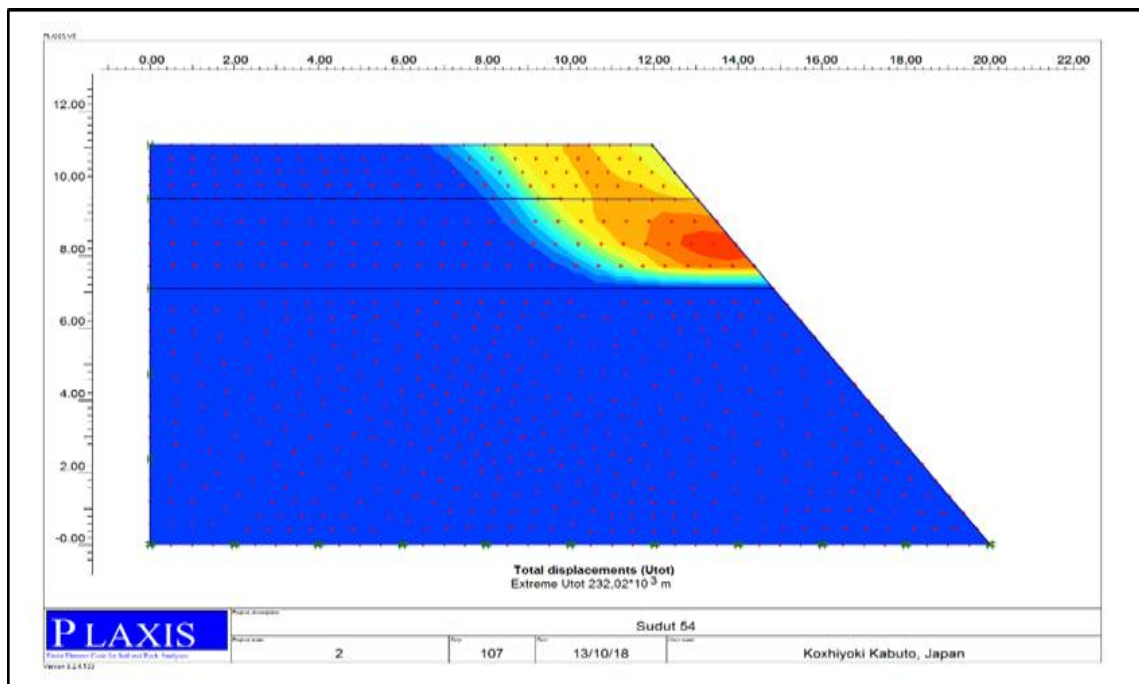
c. Hasil Plaxis *arrows*



Gambar 8. Hasil Plaxis *arrows*

Gambar 8 menunjukkan pergerakan tanda bentuk/arah keruntuhan lereng tersebut.

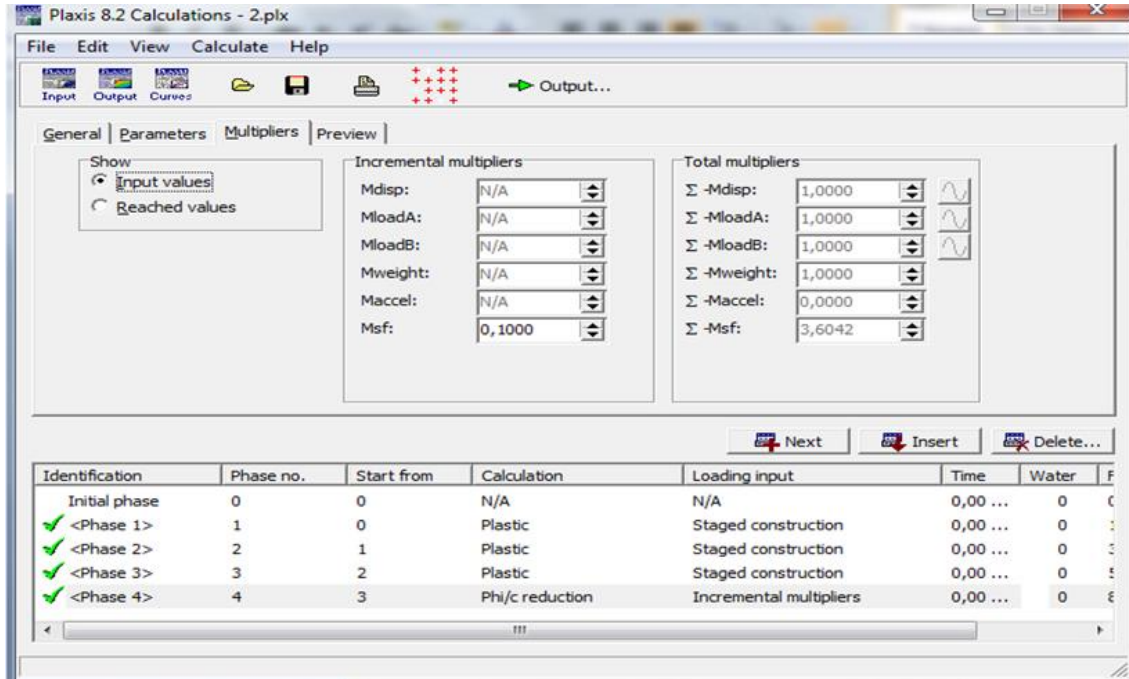
d. Hasil Plaxis *shading*



Gambar 9. Hasil Plaxis *shading*

Gambar 9 menunjukkan posisi galian lereng tambang batubara terhadap kondisi aman atau tidaknya suatu lereng. Berdasarkan gambar 9 dapat disimpulkan bahwa semakin landai kemiringan sudut lereng maka nilai FK semakin besar dimana kondisi lereng dalam keadaan stabil.

e. Hasil Plaxis faktor keamanan (FK)



Gambar 10. Hasil Plaxis faktor keamanan (FK)

Gambar 11 menunjukkan angka keamanan (FK) pada kolom Σ Msf (*Sigma Multipliers safety factor*) adalah 3,60 termasuk dalam kondisi lereng stabil yaitu diatas batas aman 1,25.



Gambar 11. Grafik hubungan FK dan sudut kemiringan lereng

Dari data lapangan hasil yang didapat nilai FK berada di atas FK aman/stabil pada sudut $\alpha_{eks} - 10\%$ yaitu $3,60 > 1,25$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin landai kemiringan lereng maka semakin tinggi angka keamanan suatu lereng.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Dari hasil analisis bentuk geometri stabilitas lereng tambang terbuka dengan sudut α eks – 10% didapati nilai FK $3,60 > 1,25$ menandakan lereng aman/stabil.
2. Perlu disiapkan perencanaan berupa upaya mitigasi dengan intensitas penambangan batubara terhadap stabilitas lereng.

5.2 Saran

1. Untuk menghasilkan stabilitas lereng galian tambang terbuka dilakukan pemodelan bentuk geometri dan DED lereng sesuai kondisi lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, S. 2007. *Dasar-Dasar Analisis Kestabilan Lereng*. PT INCO, Sorowako.
- Bowles, J.E. 1993. *Sifat Fisis Dan Gioteknis Tanah*. Terjemahan J.K Hainim, Edisi Kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Brinkgreve, R.B.J., Vermer P.A. 1998. *Plaxis, Version 7*, AA Belkema, Rotterdam.
- Febrianti, D. 2015. *Kajian Kestabilan Lereng Galian Tambang Terbuka Berdasarkan Aspek Geoteknik dan Keselamatan Kerja*. Tesis, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Imran. 2014. *Pedoman Pelaksanaan Kontruksi Bangunan dan Bukit Tes Tsunami, Jakarta*
- Tebay, D. 2011. *Rancangan Teknik Pertambangan Batubara Blok Siambul PT. Riau Barat Harum Desa Kelesa Kabupaten Indragiri Hulu Provinsi Riau*. Tesis, Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Yogyakarta.