

**ANALISIS KESTABILAN LERENG MENGGUNAKAN  
METODE KESETIMBANGAN BATAS DALAM KONDISI STATIS DAN DINAMIS  
PADA PIT X, TANJUNG ENIM, SUMATRA SELATAN**

**Siti Khodijah<sup>1</sup>, Utari Sonya Monica<sup>2</sup>, Jodistriawan Ersyari<sup>2</sup>,  
Nur Khoirullah<sup>1</sup>, Raden Irvan Sophian<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran

<sup>2</sup> Satuan Kerja Eksplorasi, PT. Bukit Asam, Tbk

Korespondensi e-mail: [siti18019@mail.unpad.ac.id](mailto:siti18019@mail.unpad.ac.id)

**ABSTRAK**

Lereng secara alamiah berada dalam keseimbangan terhadap gaya yang bekerja. Apabila terjadi ketidakseimbangan, maka lereng secara alami akan mencari keseimbangannya. Gaya-gaya yang bekerja dalam stabilitas lereng yaitu gaya pendorong dan gaya penahan. Daerah penelitian berupa galian aktif batubara dan terdapat aktivitas penambangan yang dapat mengganggu stabilitas lereng, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Tujuan penelitian yaitu menganalisis kestabilan lereng Pit X Tanjung Enim dalam kondisi statis dan dinamis terhadap 4 sayatan lereng batuan menggunakan metode kesetimbangan batas. Hasil penelitian menunjukkan, lereng dalam kondisi statis memiliki nilai faktor keamanan tergolong stabil dengan nilai faktor keamanan yaitu >1,2-1,3 namun lereng menunjukkan tidak stabil dalam kondisi dinamis atau diberikan beban seismik horizontal dan vertikal dengan nilai faktor keamanan 0,8-1,1. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa beban seismik horizontal sebesar 0,15 dan vertikal sebesar 0,01g dapat menurunkan 36,3% nilai faktor keamanan sehingga semakin tinggi nilai percepatan beban seismik maka akan memperbesar gaya pendorong dan menurunkan nilai faktor keamanan.

**Kata kunci** : lereng Pit X, statis, dinamis, nilai faktor keamanan

**ABSTRACT**

*A slope are naturally in stable condition against forces. If there is instability, the slope will naturally seek stability. The forces in slope stability are the driving force and resisting force. The research area is an active coal mine and there are mining activities that can affect the slope stability, so further research is needed. The purpose of the study is to analyze the stability of the slopes of Tanjung Enim Pit X in static and dynamic conditions on 4 rock slope using the limit equilibrium method. The results showed that, slopes with static conditions had a stable slope with factor a safety > 1.2-1.3 but the slopes show unstable in dynamic conditions when given horizontal and vertical seismic load with a safety factor value of 0.8 -1,1. Based on this, it can be interpreted that the horizontal seismic load of 0.15g and the vertical seismic load of 0.01g can reduce the factor of safety by 36.3%, so that the higher the seismic load, the greater the driving force and lower the factor of safety.*

**Keywords** : Pit X slope, static, dynamic, factor of safety

## PENDAHULUAN

Lereng merupakan merupakan suatu bidang pada morfologi yang memiliki geometri tertentu yaitu bagian tertinggi dan terendah serta berpotensi terjadinya longsor apabila dalam kondisi tidak stabil (Wesley & Pranyoto, 2010). Adapun suatu lereng dapat disusun oleh tanah, batuan atau keduanya. Kestabilan lereng dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu geometri, karakteristik sifat fisik dan mekanik, hidrologi dan hidrogeologi, bidang lemah yang terbentuk oleh struktur geologi dan getaran (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016).

Suatu lereng secara alamiah berada dalam keseimbangan terhadap gaya-gaya yang bekerja, baik dari dalam material maupun dari luar. Lereng akan mencari keseimbangan secara alamiah dengan mengurangi beban apabila terjadi gangguan akibat ketidakseimbangan yang disebabkan adanya aktivitas yang mengganggu dan proses ini disebut longsor atau gerakan tanah (Arif, 2016). Salah satu aktivitas yang mengganggu kesetimbangan yaitu keterdapatan air tanah dan getaran yang disebabkan oleh gempa maupun efek dari alat berat (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016). Suatu lereng dikatakan statis apabila tidak terdapat gangguan getaran apapun dan tidak terdapat aktivitas manusia, adapun lereng dinamis merupakan lereng yang dipengaruhi oleh getaran baik dari gempa maupun aktivitas manusia.

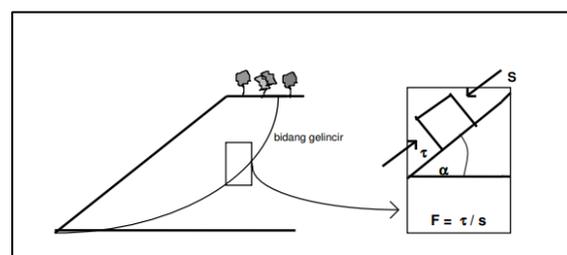
Pit X merupakan area galian tambang batubara terbuka aktif sehingga berhubungan dengan kestabilan lereng. Lereng pada Pit X tersusun atas beberapa jenis batuan sedimen dan merupakan lereng dinamis yang dipengaruhi oleh aktivitas penambangan. Dalam mencegah terjadinya gangguan yang berakibat pada keselamatan kerja dan kelancaran produksi maka perlu dilakukan analisis kestabilan lereng pada tahap perancangan, penambangan dan pascatambang (Harries dkk., 2009). Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan analisis kestabilan lereng pada Pit X dengan

mempertimbangkan kondisi statis, dinamis, muka air tanah aktual dan *full saturated*.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Analisis Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh hubungan antara gaya pendorong (*driving force*) dan gaya penahan (*resisting force*) pada suatu lereng. Perbandingan antara gaya pendorong dan gaya penahan ini dapat dinyatakan dengan nilai faktor keamanan (FK) atau *safety factor* dimana suatu lereng dapat dikatakan aman apabila gaya penahan lebih besar daripada gaya pendorong atau  $FK > 1$  (Arif, 2016).



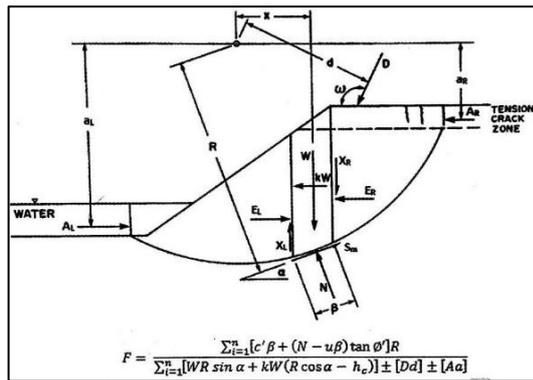
**Gambar 1** Skema gaya yang bekerja pada sebuah lereng (Zakaria, 2011)

Persamaan yang digunakan untuk mencari nilai faktor keamanan adalah sebagai berikut :

$$FK = \frac{\Sigma \text{Gaya Penahan}}{\Sigma \text{Gaya Pendorong}}$$

$$FK = \frac{c.L + \tan\phi.\Sigma W \cos\alpha}{W \sin\alpha}$$

Metode kesetimbangan batas (*Limit Equilibrium Method*) merupakan metode yang menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan hubungan tegangan-regangan pada lereng dimana dalam analisisnya menggunakan perbandingan gaya pendorong dan gaya penahan lereng. Pada analisis kesetimbangan batas, asumsi geometri dari bentuk bidang runtuh harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu lalu menghitung data-data untuk setiap irisan (Arif Irwandy, 2016).



**Gambar 2** Skema analisis kesetimbangan batas (Morgenstern & Price, 1965 dalam Takwin dkk., 2017)

Metode *Morgenstern-Price* adalah salah satu metode analisis yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas (Morgenstern & Price, 1965 dalam Takwin dkk., 2017), proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang longsor lereng tersebut. Kondisi kesetimbangan yang dipenuhi yaitu kesetimbangan gaya vertikal dan horizontal, serta kesetimbangan momen (Krahn, 2003). Gaya-gaya yang bekerja

pada tiap irisan bidang kelongsoran ditunjukkan pada gambar 2.19, persamaan yang berlaku pada gambar tersebut adalah :

$$P = \frac{[Wn - (xR - xL) - \frac{1}{F}(c'(\sin\alpha - ul \tan\phi' \sin\alpha))]}{\cos\alpha (1 + \tan\alpha \frac{\tan\phi'}{F})}$$

Keterangan :

P = Gaya Normal;  $c'$  = kohesi (jika analisa dalam kondisi *undrained* diambil  $c_u$  jika dalam kondisi *drained* diambil nilai kohesi efektif);  $Wn$  = gaya akibat beban tanah ke- $n$ ;  $\alpha$  = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor;  $\phi'$  = sudut geser tanah (jika dalam kondisi *undrained* nilai sudut geser=0);  $\mu$  = tekanan air pori;  $X_L, X_R$  = gaya geser yang bekerja di tepi irisan.

Pada penelitian ini menggunakan bantuan software geoteknik dalam melakukan simulasi. Adapun desain kriteria dalam menentukan kondisi kestabilan lereng menggunakan Kepmen ESDM Nomor 1827 Tahun 2018.

**Tabel 1** Faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang (Kepmen ESDM RI 1827K/30/MEM/2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure)	Kriteria dapat diterima		
		Faktor Keamanan Statis (Min)	Faktor Keamanan Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (Maks) PoF (FK ≤ 1)
Lereng tunggal	Rendah - Tinggi	1,1	Tidak ada	25 – 50%
	Rendah	1,15 – 1,2	1,0	25%
Inter-ramp	Menengah	1,2 – 1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2 -1,3	1,1	10%
Lereng Keseluruhan	Rendah	1,2 – 1,3	1,0	15 – 20%
	Menengah	1,3	1,15	10%
	Tinggi	1,3 – 1,5	1,1	5%

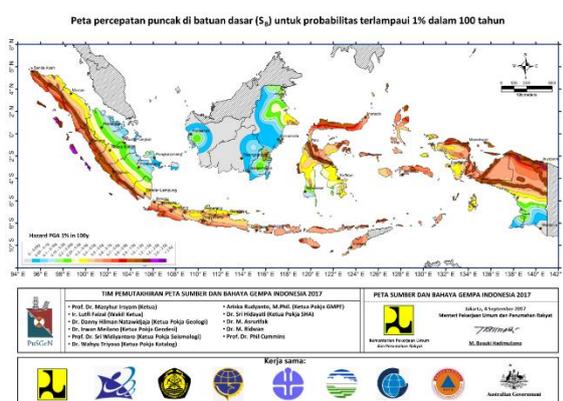
### Beban Seismik

Beban seismik (*seismic load*) merupakan faktor getaran yang digunakan dalam analisis ini berupa getaran gempa (horizontal) dan efek dari alat berat (vertikal). *Peak Ground Accleretation* (PGA) adalah nilai percepatan getaran pada saat gempa terjadi. Nilai PGA yang

digunakan pada penelitian ini berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia

2017 dengan probabilitas 1% dalam 100 tahun yang berarti dalam perulangan 100 tahun memiliki probabilitas gempa 1%. Daerah penelitian memiliki nilai PGA 0.3g, hal ini dapat dilihat pada Peta Sumber

dan Bahaya Gempa Bumi berikut ini (Gambar 3). Pemilihan perulangan 100 tahun untuk mendapatkan nilai pesimis. Nilai yang digunakan untuk koefisien gempa horizontal merupakan setengah dari nilai PGA (Wyllie & Mah, 2004) yaitu 0,15g. Untuk koefisien gempa vertikal didapat dari efek aktivitas alat berat pada pertambangan seperti unit *Dump Truk HD* dan DT yang bernilai 0,005764 – 0,018468 (Ningrum dkk., 2019). Adapun pada penelitian ini menggunakan nilai koefisien 0,001.



**Gambar 3** Peta Sumber dan Bahaya Gempa Bumi Indonesia (Kementerian PUPR, 2017)

## METODOLOGI

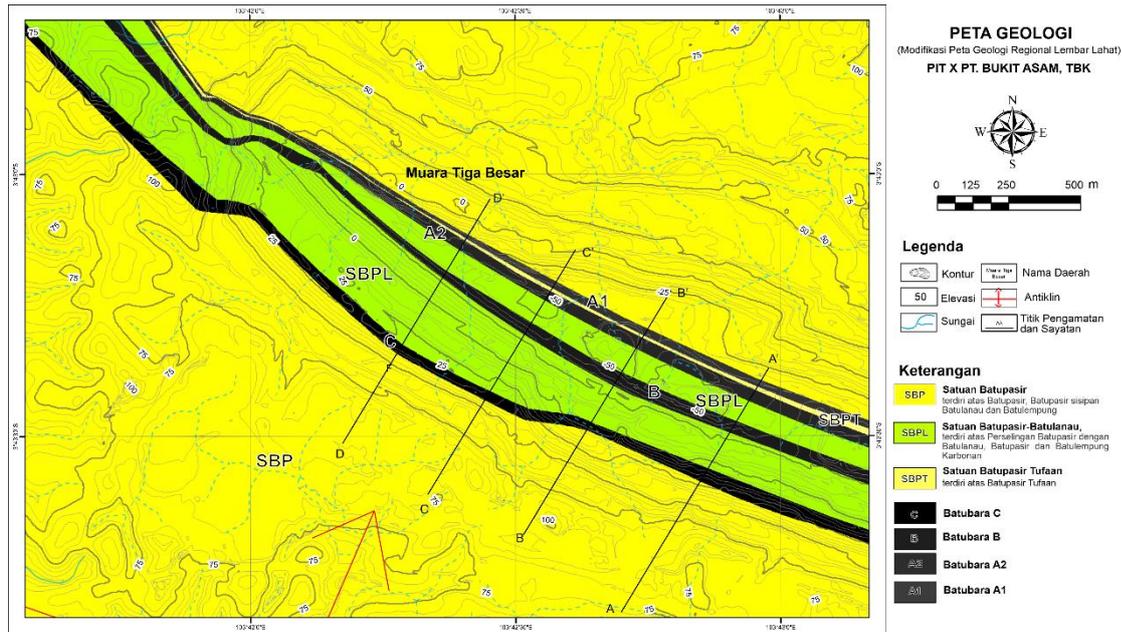
### Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilakukan pada Pit X Tanjung Enim, Sumatra Selatan pada salah

satu pertambangan batubara. Secara geologi daerah penelitian tersusun atas Formasi Air Bekanat dan Formasi Muaraenim (Gafner dkk., 1986) dan terdiri atas litologi batupasir, batubara, perselingan batupasir dengan batulanau, batupasir tufaan, batulempung dan batulempung karbonan (Gambar 4). Pit X sebagai antiklin utara Muara Tiga Besar memiliki arah relatif barat laut dengan nilai kemiringan batuan yang bervariasi dari 30°-35°. Adapun objek penelitian merupakan sayatan 2D geologi bawah permukaan yang terdiri dari 4 sayatan, karakteristik fisik dan mekanik material penyusun lereng (Tabel 2), elevasi muka air tanah, dan koefisien *seismic load* yang didapatkan dari nilai PGA. Daerah penelitian memiliki muka air tanah pada elevasi 43-48 mdpl (PTBA, 2022).

Penelitian ini menggunakan tiga kondisi analisis yaitu :

1. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah aktual
2. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah *full saturated*
3. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah aktual
4. Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah *full saturated*



Gambar 4. Peta geologi daerah penelitian

Tabel 2 Nilai karakteristik fisik dan mekanik material Pit X (Sumber : PT. Bukit Asam Tbk, 2022)

No	Stratigrafi	Litologi Dominan	$(\gamma)$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c$ (kPa)	$\phi$ (°)
1	OB A1	Batupasir	19,03	144,35	17,42
2	Seam A1	Batubara	11,88	277,18	25,25
3	IB A1-A2	Batupasir Tufaan	18,79	123,09	18,44
4	Seam A2	Batubara	12,08	563,06	23,91
5	IB A2-B	Perulangan Batupasir dengan Batulanau	19,86	72,88	13,62
6	Seam B	Batubara	11,98	476,7	23,67
7	IB B-C	Perselingan Batupasir dengan Batulanau	19,66	163,2	18,98
8	Seam C	Batubara	10,74	334,97	30,35
9	Under C	Batupasir	21,34	55,43	16,63

## HASIL DAN PEMBAHASAN

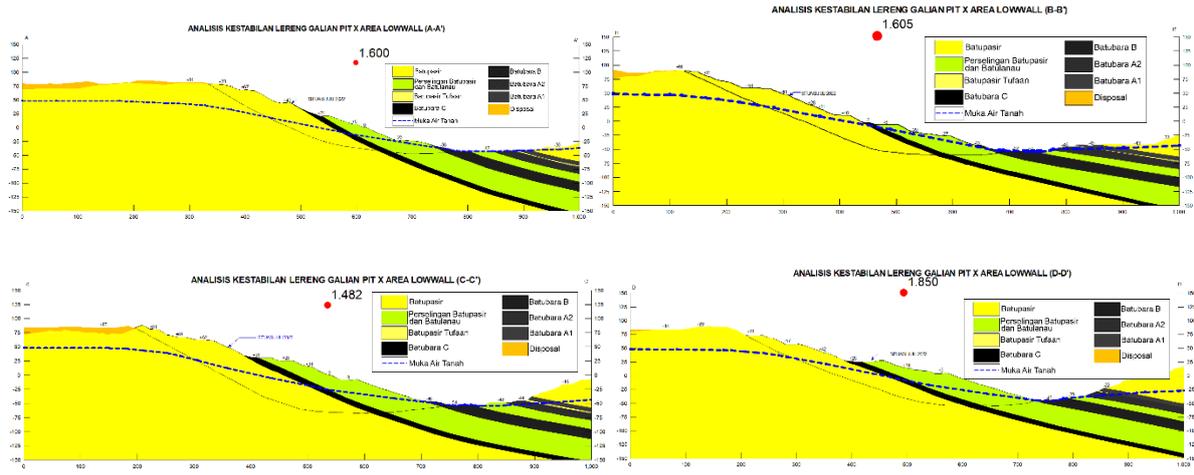
### Analisis Kestabilan Lereng

Simulasi analisis kestabilan lereng menggunakan metode kesetimbangan batas dilakukan dengan menentukan terlebih

dahulu bidang longsornya. Pada analisis ini bidang longsor mengikuti bidang perlapisan batuan karena berada di area *lowwall* galian.

1. Kondisi Lereng statis dengan muka air tanah aktual (43 mdpl), analisis dilakukan pada 4 sayatan lereng. Pada simulasi ini tidak diberikan gangguan nilai *seismic load* atau bersifat statis.

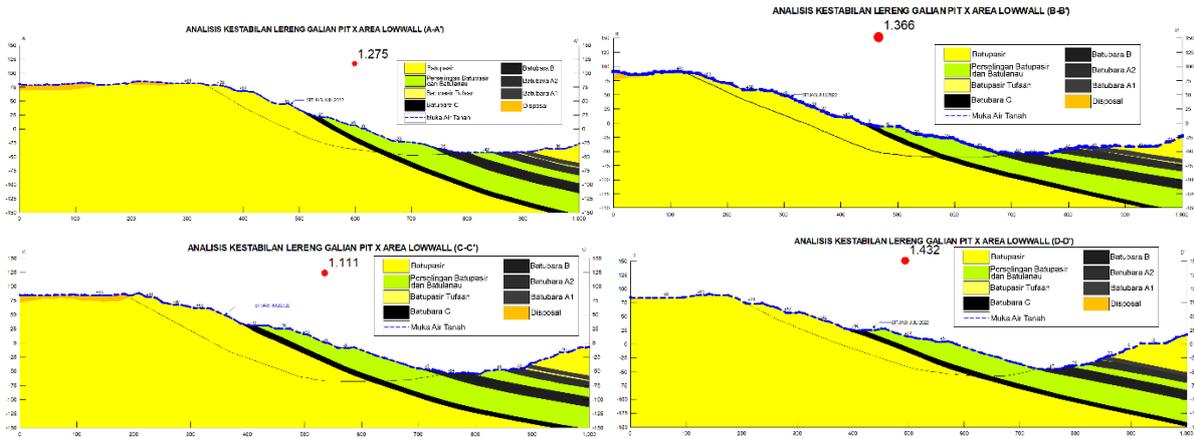
Berdasarkan simulasi yang dilakukan maka sayatan AA-DD tergolong lereng yang stabil (Kepmen ESDM No. 1827 dalam \_\_, 2018).



Gambar 5 Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air tanah aktual sayatan AA-DD

2. Kondisi lereng statis dengan muka air tanah *full saturated*, analisis dilakukan pada sayatan AA-DD dengan muka air tanah di permukaan. Pada analisis ini tidak diberikan nilai *seismic load* sehingga bersifat statis. Berdasarkan

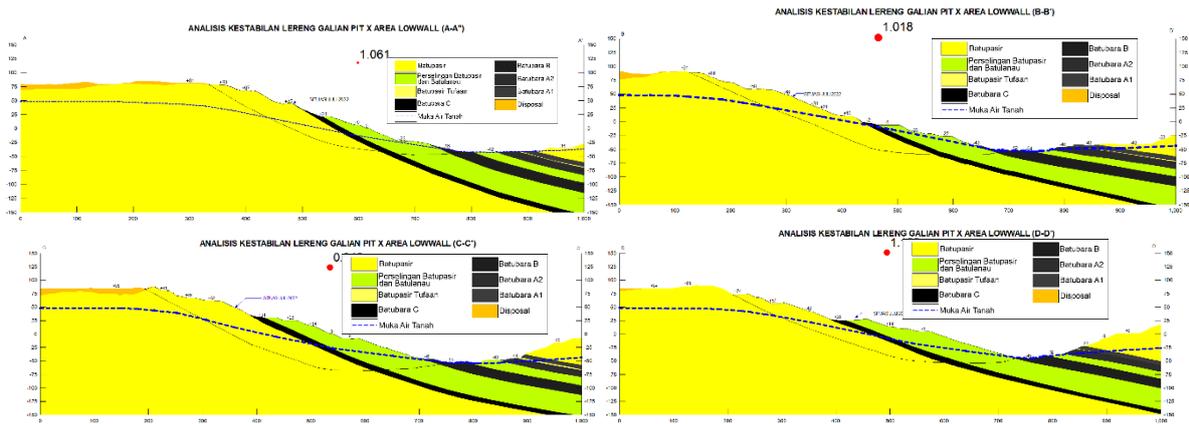
simulasi yang dilakukan maka sayatan AA, BB dan DD memenuhi kriteria lereng stabil dan sayatan CC tidak memenuhi desain kriteria lereng stabil (Kepmen ESDM No. 1827 dalam \_\_, 2018).



Gambar 6 Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air tanah *full saturated* sayatan AA-DD

3. Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah aktual, analisis dilakukan pada 4 sayatan yaitu AA-DD. Muka air tanah berada di elevasi 43 mdpl dengan nilai percepatan getaran seismik horizontal yaitu 0,15 (Irsyam dkk., 2017) dan vertikal sebesar 0,01 (Ningrum dkk, 2019). Berdasarkan simulasi

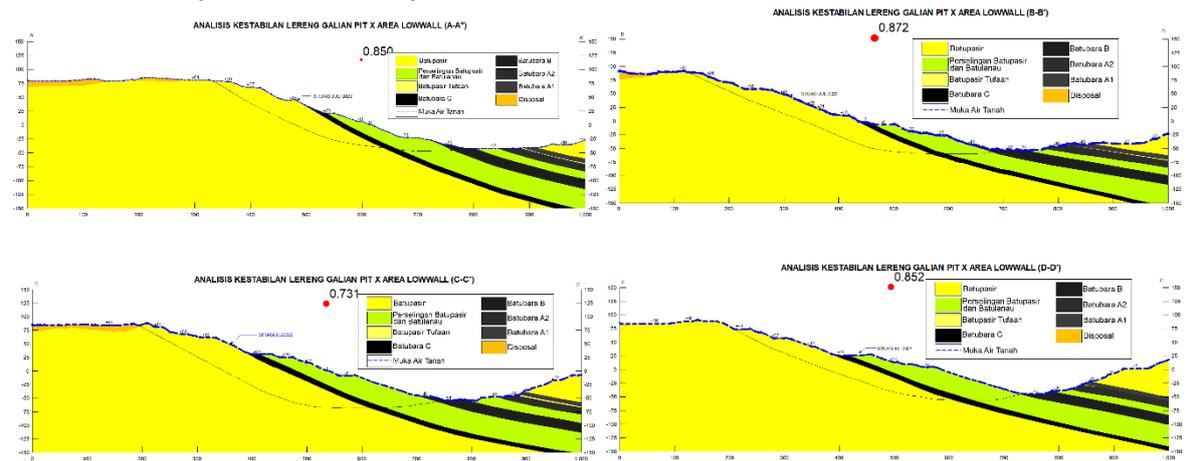
menunjukkan bahwa lereng CC tidak memenuhi kriteria desain lereng stabil (Kepmen ESDM No. 1827 dalam \_\_, 2018) dan lereng AA, BB dan DD memenuhi kriteria lereng dinamis stabil (Kepmen ESDM No. 1827, 2018) dengan tingkat keparahan longsor rendah – tinggi.



**Gambar 7** Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air tanah aktual sayatan AA-DD

4. Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah *full saturated*, analisis dilakukan pada 4 sayatan yaitu AA-DD. Muka air tanah berada di permukaan dengan nilai percepatan getaran seismik horizontal yaitu 0,15 (Irsyam dkk.,

2017) dan vertikal sebesar 0,01 (Ningrum dkk, 2019). Berdasarkan simulasi menunjukkan bahwa lereng AA-DD tidak memenuhi kriteria desain lereng dinamis stabil (Kepmen ESDM No. 1827 dalam \_, 2018).

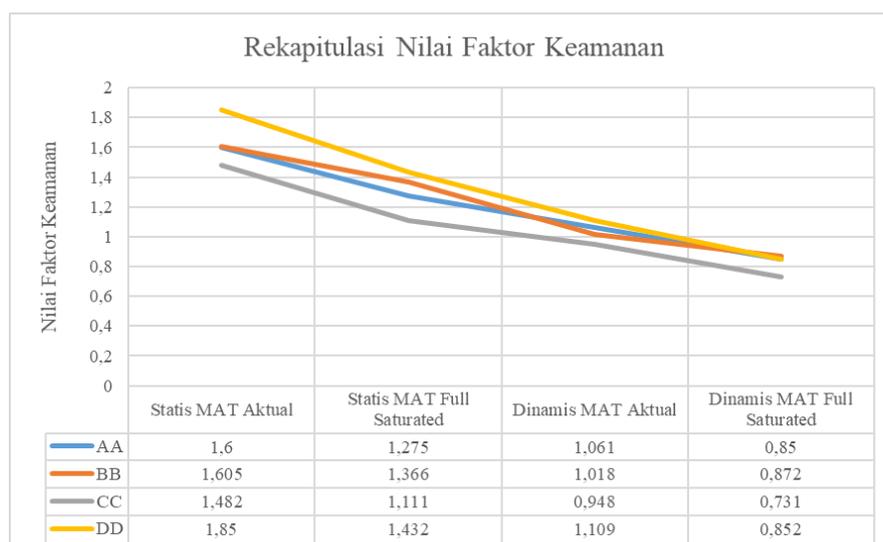


**Gambar 8** Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air *full saturated* sayatan AA-DD

**Pembahasan**

Simulasi dilakukan pada 4 sayatan lereng. Berdasarkan simulasi tersebut, sayatan AA mengalami penurunan nilai FK sebesar 33,7% pada kondisi statis MAT Aktual ke kondisi dinamis MAT Aktual dan 33,3% pada kondisi statis MAT *full saturated* ke kondisi dinamis MAT *full saturated*. Sayatan BB mengalami penurunan nilai FK sebesar 36,6% pada kondisi statis MAT Aktual ke kondisi dinamis MAT Aktual dan 36,2% pada kondisi statis MAT *full saturated* ke

kondisi dinamis MAT *full saturated*. Sayatan CC mengalami penurunan nilai FK sebesar 36% pada kondisi statis MAT Aktual ke kondisi dinamis MAT Aktual dan 34,2% pada kondisi statis MAT *full saturated* ke kondisi dinamis MAT *full saturated*. Dan sayatan DD mengalami penurunan nilai FK sebesar 40% pada kondisi statis MAT Aktual ke kondisi dinamis MAT Aktual dan 40,5% pada kondisi statis MAT *full saturated* ke kondisi dinamis MAT *full saturated*. Pada gambar 9 menunjukkan tren negatif nilai FK pada kondisi statis terhadap kondisi dinamis.



**Gambar 9** Grafik rekapitulasi nilai faktor keamanan pada sayatan AA-DD

Grafik menunjukkan bahwa *seismic load* sebagai faktor dinamis dapat mempengaruhi nilai faktor keamanan cukup signifikan. Dalam hal ini getaran seismik horizontal berdasarkan percepatan gempa dan getaran seismik vertikal berdasarkan efek alat berat yang keduanya berperan sebagai salah satu gaya pendorong atau beban pada lereng sehingga akan memperbesar *driving force*. Pada metode kesetimbangan batas memperhitungkan gaya pendorong dan gaya penahan lereng dimana dalam analisis ini kondisi gaya pendorong bertambah akibat adanya faktor getaran namun gaya penahan lereng memiliki nilai yang tetap sehingga menurunkan nilai faktor keamanan atau lereng berada pada kondisi tidak stabil. Dalam menentukan apakah lereng akan mengalami kelongsoran atau tidak, maka perlu dilakukan kajian geoteknik lebih lanjut seperti mempertimbangkan beban alat berat pada *inter-ramp* dan kondisi tekanan air pori. Kedua hal tersebut dapat memberi keyakinan lebih dalam kajian geoteknik kestabilan lereng.

### KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang telah dianalisis, maka adanya nilai *seismic load* horizontal sebesar 0.15g dan vertikal 0.01g pada lereng dapat menurunkan rata-rata

36,3% nilai faktor keamanan. Berdasarkan hal tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai percepatan getaran akan berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan. Semakin tinggi nilai tersebut sebagai faktor gaya pendorong lereng maka lereng berada dalam kondisi dinamis sehingga akan mempengaruhi kestabilannya. Berdasarkan nilai percepatan getaran seismik yang digunakan, maka lereng akan mengalami kelongsoran apabila terjadi gempa dengan percepatan 0,3 g.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada satuan kerja Eksplorasi PT. Bukit Asam Tbk yang selalu mendukung penulis dalam melakukan penelitian. Serta kepada orang tua dan dosen pembimbing yang selalu memberikan motivasi.

### DAFTAR PUSTAKA

- . (2018). *Keputusan Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Arif, I. (2016). *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Gramedia Pustaka Utama.

- Gafoer, S., Cobrie, T., & Purnomo, J. (1986). *Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatra Selatan, Skala 1:250.000*. Pusat Survey Geologi.
- Harries, N., Noon, D., & Pritchett. (2009). Slope Stability Radar for Managing Rock Fall Risk in Open Cut Mines. *Proceeding of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium*.
- Irsyam, M., Faizal, Lutfi., Natawidjaja, Danny H., Meilano, Danny., Widiyantoro, Sr., Triyoso, W. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia 2017* (Issue September). Kementrian PUPR Republik Indonesia.
- Krahn, J. (2003). The 2001 R.M. Hardy Lecture: The limits of limit equilibrium analyses. *Canadian Geotechnical Journal*, 40(3), 643–660. <https://doi.org/10.1139/t03-024>
- Ningrum, M. F., Laesanpura, A., Suhendi, C., & Mahartadika, Y. A. (2019). Estimasi Pengaruh Vibrasi Pergerakan Transportasi Alat Berat pada Kestabilan Low-wall , Studi Kasus pada Aktivitas Pertambangan Batubara Site Asam-Asam , Kalimantan Selatan. *Jurnal Fisika*, 1–13.
- Takwin, G. A., Turangan, A. E., & Rondonuwu, S. G. (2017). Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus : Diamond Hill Citraland). *Tekno*, 15(67), 66–76.
- Wesley, L. D., & Pranyoto, S. (2010). *Mekanika Tanah: untuk Tanah Endapan & Residu*. Penerbit ANDI.
- Wyllie, D. C., & Mah, C. W. (2004). Rock Slope Engineering : Civil and Mining 4th Edition. In *Taylor & Francis Group* (Vol. 3, Issue April).
- Zakaria, Z. (2011). Analisis Kestabilan Lereng Tanah. *Laboratorium Geologi Teknik*.