



---

## ANALISIS KESTABILAN LERENG MENGGUNAKAN METODE KESETIMBANGAN BATAS DALAM KONDISI STATIS DAN DINAMIS PADA PT X, MUSI BANYUASIN, SUMATERA SELATAN

*Selvia Maharani Kusuma<sup>1\*</sup>, Agus Harjanto<sup>2</sup>, Basuki Rahmat<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Geologi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta  
Jl. Ring Road Utara No.104, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman,  
Daerah Istimewa Yogyakarta

\*Korespondensi e-mail: [selviamaharani999@gmail.com](mailto:selviamaharani999@gmail.com)

### ABSTRACT

*Slopes are naturally in balance with the forces acting. If an imbalance occurs, the slope will naturally seek balance. The forces that work in slope stability are driving forces and resisting forces. The research area consists of active coal minerals and there are mining activities that can disrupt slope stability, so further research is needed. The aim of this research is to analyze the stability of the Pit X slope in Musi Banyuasin area in static and dynamic conditions with respect to 4 (four) rock slope incisions using the limit equilibrium method. The results of the research show that slopes in static conditions have a safety factor value of > 1.1 – 2.9, there are 2 (two) slopes at the BB and CC incisions that experience unstable conditions and 2 (two) at the AA and DD incisions that are in stable conditions. In dynamic conditions, it shows a decrease in the FK value based on a horizontal seismic load of 0.075 g which can reduce the safety factor value by 53 % so that the higher the acceleration value of the seismic load, the greater the driving force of the safety factor value.*

**Keywords:** Slope, static & dynamic condition, safety factor value, limited equilibrium

### SARI

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 bahan galian aktif batubara dan terdapat aktivitas penambangan yang dapat mengganggu stabilitas lereng, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kestabilan lereng Pit X Daerah Musi Banyuasin dalam kondisi statis dan dinamis terhadap 4 (empat) sayatan lereng batuan menggunakan metode kesetimbangan batas. Hasil penelitian menunjukkan lereng dalam kondisi statis memiliki nilai faktor keamanan > 1.1 – 2.9 terdapat 2 (dua) lereng pada sayatan BB dan CC yang mengalami kondisi tidak stabil dan 2 (dua) pada sayatan AA dan DD dengan kondisi stabil. Pada kondisi dinamis menunjukkan penurunan nilai FK berdasarkan beban seismik horizontal 0.075 g yang dapat menurunkan 53 % nilai faktor keamanan sehingga semakin nilai percepatan beban seismik maka akan memperbesar gaya pendorong nilai faktor keamanan.

**Kata kunci:** Lereng, keadaan statis & dinamis, nilai faktor keamanan, kesetimbangan batas

---

### Publikasi pada:

Journal of Geology and Sriwijaya

### Institusi:

Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya  
Jl. Srijaya Negara, Palembang, Sumatera Selatan

### Surel:

[jgs\\_teknikgeologi@unsri.ac.id](mailto:jgs_teknikgeologi@unsri.ac.id)

---

### Jejak artikel:

Diterima: 18 Apr 24

Diperbaiki: 05 May 24

Disetujui: 15 May 24

Lisensi oleh:

CC BY-NC-SA 4.0



## PENDAHULUAN

Pit X merupakan area galian tambang batubara yang aktif saat ini dan masih melakukan aktivitas di daerah lereng tersebut. Lereng Pit X tersusun atas jenis batuan sedimen dan merupakan lereng dinamis yang dipengaruhi oleh aktivitas penambangan. Penulis membuat penelitian untuk mengetahui nilai faktor keamanan jika keadaan lereng statis dan dinamis untuk mencegah dan mempersiapkan rekomendasi lereng agar lereng tersebut tidak terjadi longsor.

Wesley dan Pranyoto (2010) mendefinisikan lereng sebagai suatu ciri morfologi dengan bagian atas dan bawah yang jelas, jika tidak stabil dapat menyebabkan tanah longsor. Lereng dapat terbuat dari batu, tanah atau kombinasi keduanya. Beberapa unsur mempengaruhi kestabilan suatu lereng, antara lain geometri, formasi geologi yang membentengi titik lemah, getaran, hidrologi dan kualitas mekanik (Moshab, 1997 dalam Arif, 2016).

Daerah penelitian terjadi gaya internal dan eksternal yang bekerja, kemiringan akan selalu berada dalam keseimbangan. Jika gangguan muncul akibat ketidakseimbangan yang disebabkan oleh gangguan aktivitas, lereng secara alami akan mencari keseimbangan dengan mengurangi beban. Hal tersebut menjadikan faktor kemungkinan terjadinya longsor atau *failure* akibat ketidakseimbangan statis dan dinamis.

## GEOLOGI REGIONAL

Kondisi geologi pada daerah penelitian secara fisiografi termasuk ke dalam pulau Sumatera. Berdasarkan klasifikasi Van Bemmelen (1949), Pulau Sumatera terbagi menjadi enam zona fisiografi yaitu Pegunungan Bukit Barisan, Zona Sesar Semangko, Zona Pegunungan Tiga Puluh,

Zona Dataran Rendah dan Dataran Bergelombang, Zona Paparan Sunda dan Zona Kepulauan Busur Luar. Secara tektonik Pulau Sumatera terbentuk akibat adanya *collision* antara Lempeng Indo-Australia yang menunjam masuk secara oblig ke dalam Lempeng Eurasia sehingga pada fisiografi Pulau Sumatera dengan arah barat laut dan tenggara. Menurut Ginger & Fielding (2005), sejarah tektonik Cekungan Sumatera Selatan dapat dibagi menjadi tiga Megasikuen tektonik yaitu Megasikuen *Syn-Rift*, Megasikuen *Post Rift*, Megasikuen *Syn-Orogenic Inversi*.

Stratigrafi Cekungan Sumatera Selatan terbagi menjadi empat Megasikuen yaitu *Pre-Rift*, *Syn-Rift* dan *Syn-Inversion*. Stratigrafi yang membentuk Cekungan Sumatera Selatan dimulai pada batuan *basement* yang berumur pra-tercier dan terbentuk pada saat bersamaan dengan pembentukan Pulau Sumatera, seperti Formasi Tarap dan Formasi Garba sampai terjadinya intrusi granitik yaitu Granit Garba. Terjadi aktivitas tektonik berupa fase ekstensional yang terjadi di Eosen Awal sampai Miosen Awal. Proses tektonik tersebut membentuk Lahat Grup berupa Formasi Kikim serta Telisa Grup yang terdiri dari Formasi Talang Akar, Formasi Baturaja dan Formasi Gumai. Pada Miosen Awal sampai Pliosen Awal, terjadi peristiwa tektonik tenang dan diakhiri dengan fase kompresi miring (*oblique compression*) di Kala Pliosen sampai Pleistosen yang terdapat kehadiran endapan gunung api, diantaranya Formasi Kasai dan Formasi Ranau (Argakoesoemah & Kamal, 2004).

Daerah penelitian masuk ke dalam Formasi Muaraenim yang merupakan salah satu pembawa batubara terbesar di Indonesia. Pengendapan formasi ini dimulai pada Kala Miosen Akhir bersamaan dengan peningkatan aktivitas vulkanik Bukit Barisan sebagai suplai sedimen. Formasi ini terendapkan pada lingkungan fluvial – delta sebagai hasil regresif akhir pengendapan cekungan (Elcofa dkk, 2023).

**MATERIAL DAN METODE PENELITIAN**

Analisis kestabilan lereng menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif. Pada metode kualitatif yang dihasilkan berupa tabel, grafik dan angka. Pada metode kualitatif yang didapatkan yaitu hasil laboratorium material berupa sifat fisik dan sifat mekanik pada daerah penelitian.

Data yang diolah dari sayatan 2D geologi bawah permukaan, terdiri dari 4 (empat) sayatan pada *plan* desain, karakteristik fisik dan mekanik material penyusun lereng, elevasi muka air tanah dan koefisien *seismic load* yang didapatkan dari nilai PGA (Peta Bahaya dan Sumber Gempa Indonesia). Sayatan bawah permukaan dilakukan pada model lereng dengan menggunakan *software* Minescape 5.7 dan analisis stabilitas lereng dengan menggunakan *software* Rocscience Slide V.60 dengan metode Morgenstern–Price.

Penelitian ini menggunakan 4 (empat) analisis kondisi lereng yaitu :

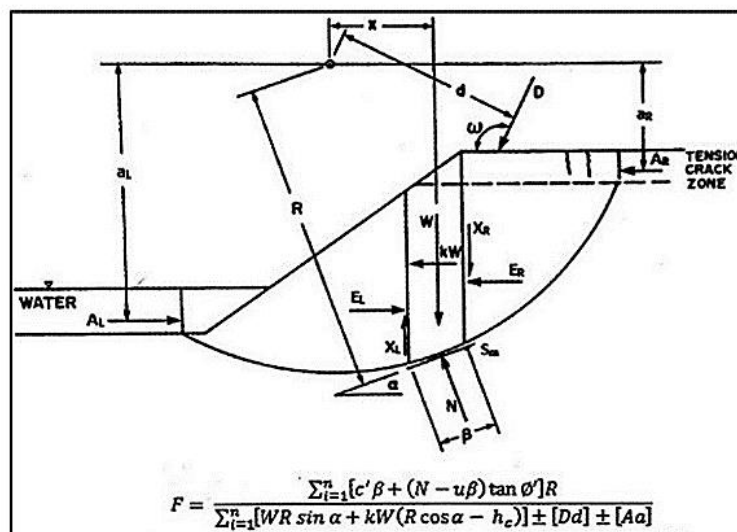
- 1) Kondisi lereng statis dengan muka air tanah aktual.
- 2) Kondisi lereng statis dengan muka air tanah *full saturated*.
- 3) Kondisi lereng statis dengan muka air

tanah aktual.

- 4) Kondisi lereng dinamis dengan muka air tanah *full saturated*.

Kestabilan lereng dipengaruhi oleh hubungan antara gaya pendorong dan gaya penahan pada suatu lereng. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode kesetimbangan batas yang dinyatakan dengan nilai faktor keamanan (FK) atau *safety factor*. Suatu lereng dapat dikatakan aman apabila gaya penahan lebih besar dari pada gaya pendorong menurut Khodijah dkk (2022). Metode ini merupakan ekuilibrium batas untuk analisis kestabilan lereng untuk jenis gelinciran gerak translasi dan rotasi (Ibrahim dkk, 2022).

Analisis pendekatan melalui kesetimbangan batas membandingkan gaya penggerak dengan gaya penahan lereng, namun mengabaikan hubungan tegangan – tegangan pada lereng karena menggunakan keadaan keseimbangan statis. Analisis kestabilan lereng dengan kesetimbangan batas menggunakan metode Morgentern–Price. Perhitungan data setiap irisan dalam analisis kesetimbangan batas, harus diketahui dan mengidentifikasi asumsi geometri bentuk bidang keruntuhan (Gambar 1).



Gambar 1. Skema analisis kesetimbangan batas (Morgenstern & Price, 1965 dalam Takwin dkk, 2017). Proses analisis dalam pendekatan Morgenstern–Price merupakan hasil

kesetimbangan setiap gaya ditambah momen biasa untuk setiap persimpangan bidang keruntuhan lereng. Teknik ini didasarkan pada pengertian batas kesetimbangan (Morgenstern & Price, 1965 dalam Takwin dkk, 2017). Menurut Krahn (2003), ketika momen dan gaya vertikal dan horizontal seimbang, dikatakan bahwa persyaratan kesetimbangan terpenuhi. Persamaan (1) ini menunjukkan gaya – gaya yang bekerja pada bidang longsor.

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

Keterangan :

- P adalah gaya normal
- c' adalah kohesi
- $\mu$  adalah kondisi tak terdrainase, nilai kohesi efektif digunakan dalam kondisi terdrainase.
- $\phi'$  adalah sudut geser tanah bernilai nol dalam keadaan tak terdrainase
- Wn adalah gaya beban tanah ke-n
- $\mu$  adalah tekanan air pori
- $\alpha$  adalah sudut antara pusat bidang baji dengan pusat bidang longsor
- XL & XR adalah gaya geser pada irisan

Perangkat lunak geoteknik digunakan untuk melakukan simulasi dalam penelitian ini (Tabel 1) dari Keputusan Menteri ESDM No. 1827 tahun 2018 menetapkan standar perancangan kondisi stabilitas lereng.

Tabel 1. Faktor keamanan dan probabilitas longsor lereng tambang berdasarkan Kepmen ESDM No. 1827/30/MEM/2018

Jenis Lereng	Keparahan Longsor ( <i>Consequences of Failure</i> )	Kriteria dapat diterima		
		Kriteria dapat diterima Faktor Keamanan Statis (Min)	Faktor Keamanan Dinamis (Min)	Probabilitas Longsor (Maks) PoF ( $\leq FK$ )
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 adalah suatu komponen getaran yang bermanifestasi sebagai getaran gempa horizontal dan dampak vertikal dari alat berat. Nilai percepatan getaran pada saat terjadi gempa dikenal dengan *peak ground acceleration* (PGA). Penulis menggunakan nilai – nilai PGA dari Peta Bahaya dan Sumber Gempa Bumi Indonesia untuk penelitian ini.

Pada tahun 2017, kemungkinan terjadinya gempa bumi sebesar 1 % dalam 100 tahun yang berulang, artinya kecil kemungkinannya. Daerah penelitian mempunyai nilai PGA sebesar 0,3 g berdasarkan informasi Peta Bahaya dan Sumber Gempa Bumi. Nilai hasil negatif untuk kekambuhan 100 tahun. Menurut Khodijah (2022) menyebutkan koefisien gempa horizontal sebesar 0,075 g, yaitu

setengah dari nilai PGA (Wyllie & Mah, 2004).

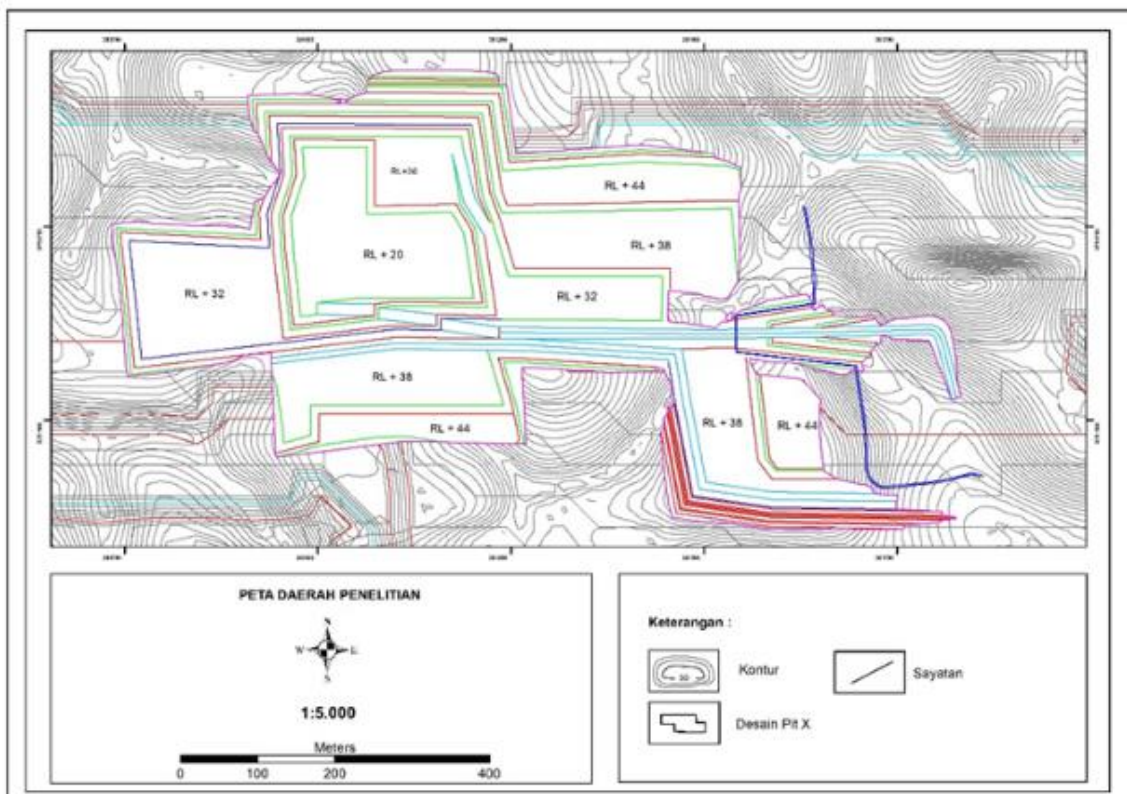
### Pengaruh Tekanan Air

Kestabilan lereng dipengaruhi beberapa faktor diantaranya geometri lereng, sifat fisik batuan, sifat mekanik batuan, struktur geologi, keberadaan air tanah dan gaya beban luar. Menurut Frans & Nurfalaq (2019), penelitian mengenai studi geoteknik muka air tanah terhadap kestabilan lereng menjelaskan pada keberadaan air, terutama air tanah (*groundwater*) sangat mempengaruhi kemantapan suatu lereng. Hal tersebut dikarenakan air tanah memiliki tekanan air pori (*pore water force*) dan menurunkan kekuatan suatu massa batuan penyusun lereng. Hal itu yang akan menyebabkan resiko tinggi atas keselamatan unit dan manusia yang beroperasi pada lereng tersebut.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu tambang batubara di Kabupaten Musi Banyuasin Sumatera Selatan menjadi lokasi penelitian, terdiri atas litologi berupa batubara, batupasir yang diselingi batulanau, batupasir tufa, batulumpur dan batulumpur berkarbon merupakan komponen geologi wilayah penelitian yang dijadikan Formasi Muaraenim dan Formasi Talang Akar menurut Gafoer dkk (1986).

Strata batuan di Pit X pada wilayah penelitian ini memiliki kemiringan 9 – 15 derajat. Pembuatan 4 (empat) sayatan geologi bawah permukaan 2D berfungsi sebagai target penyelidikan. Sifat mekanik dan fisik material lereng, serta koefisien beban gempa, tinggi muka air tanah, dan nilai PGA ditentukan. Ketinggian air tanah 48 meter di atas permukaan laut terdapat di wilayah penelitian (Gambar 2).



Gambar 2. Peta lokasi penelitian pit X

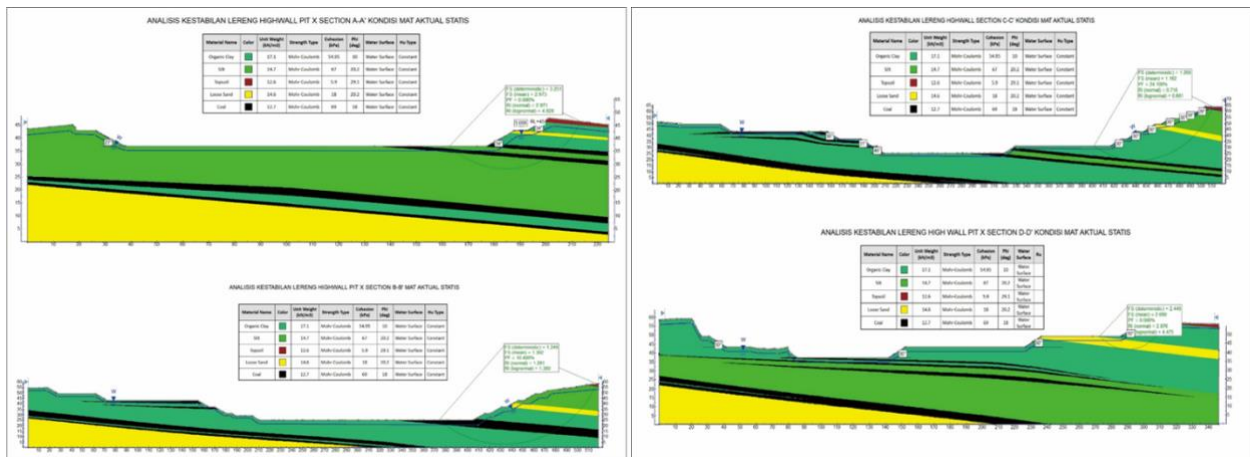
Tiga keadaan analitik digunakan dalam penelitian ini, khususnya:

- 1) Situasi yang melibatkan kemiringan statis dan tinggi muka air tanah sebenarnya.
- 2) Ketinggian air tanah sepenuhnya jenuh pada kondisi lereng statis.
- 3) Situasi yang melibatkan kemiringan statis dan tinggi muka air tanah sebenarnya.
- 4) Llingkungan lereng yang dinamis, permukaan air tanah selalu jenuh.

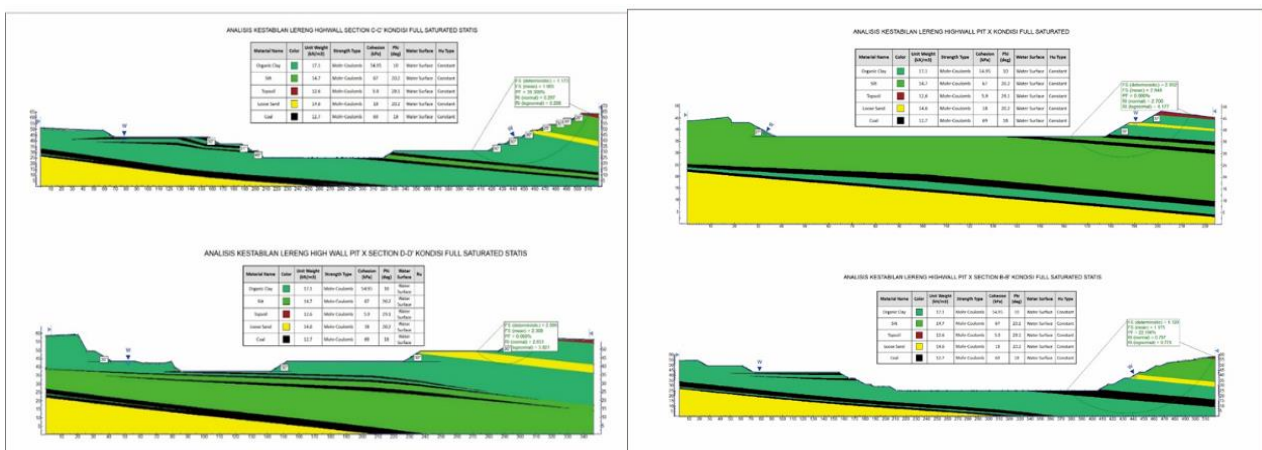
Pembuatan simulasi kesetimbangan batas pada studi kestabilan lereng, terlebih

dahulu harus ditentukan luas longsornya. Luas longsor terletak pada daerah *highwall* penggalian, maka bidang longsor pada penelitian ini mengikuti bidang perlapisan batuan.

Penelitian dilakukan pada 4 (empat) sayatan lereng dengan parameter lereng statis muka air tanah nyata yaitu 56 mdpl. Tingkat beban seismik tidak berubah dan tidak terpengaruh pada model ini. Keputusan Menteri ESDM no. 1827 tahun 2018 menyatakan bahwa sayatan AA-DD dianggap lereng stabil berdasarkan hasil perhitungan (Gambar 3).



Gambar 3. Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air tanah aktual sayatan AA-DD



Gambar 4. Analisis kestabilan lereng statis dengan muka air tanah *full saturated* sayatan AA-DD

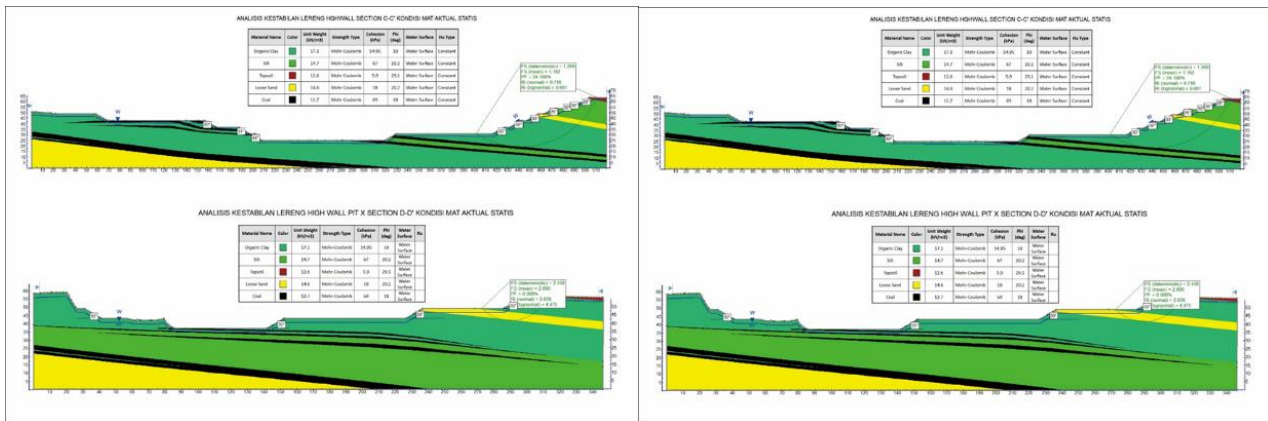
Sayatan AA-DD dianalisis dalam kondisi lereng statis dengan tingkat air

tanah jenuh sempurna di permukaan. Perkiraan beban gempa tidak disajikan

dalam studi ini, maka perkiraan tersebut tetap statis. Keputusan Menteri ESDM no. 1827 tahun 2018 menyatakan bahwa sayatan B dan C tidak stabil berdasarkan hasil simulasi (Gambar 4).

Investigasi dilakukan pada 4 (empat) sayatan yaitu AA–DD pada kondisi lereng dinamis dengan tinggi muka air tanah nyata. Nilai percepatan sebesar 0,075 g

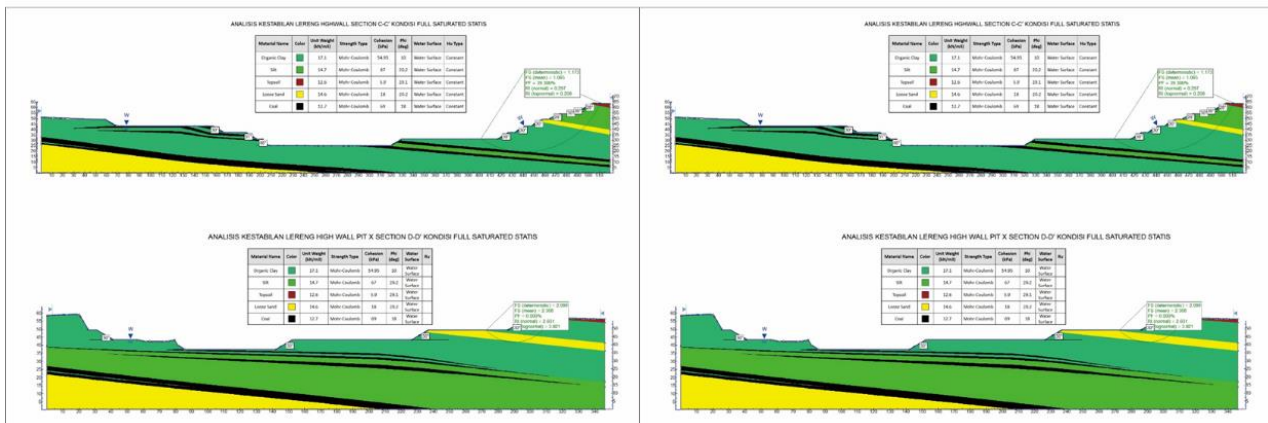
pada getaran seismik horizontal menunjukkan tinggi muka air tanah 43 m di atas permukaan laut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa lereng tersebut belum memenuhi persyaratan tingkat keparahan longsor rendah–tinggi yang dituangkan dalam Keputusan Menteri ESDM no. 1827 tahun 2018 untuk desain lereng stabil (Gambar 5).



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

Dalam lingkungan lereng yang dinamis, permukaan air tanah pada kondisi jenuh. Nilai percepatan getaran seismik horizontal sebesar 0,075 g menunjukkan bahwa muka air tanah berada pada atau

dekat permukaan. Menurut Keputusan Menteri ESDM no. 1827 tahun 2018, kemiringan AA–DD tidak cukup stabil untuk dianggap dinamis dalam model (Gambar 6).



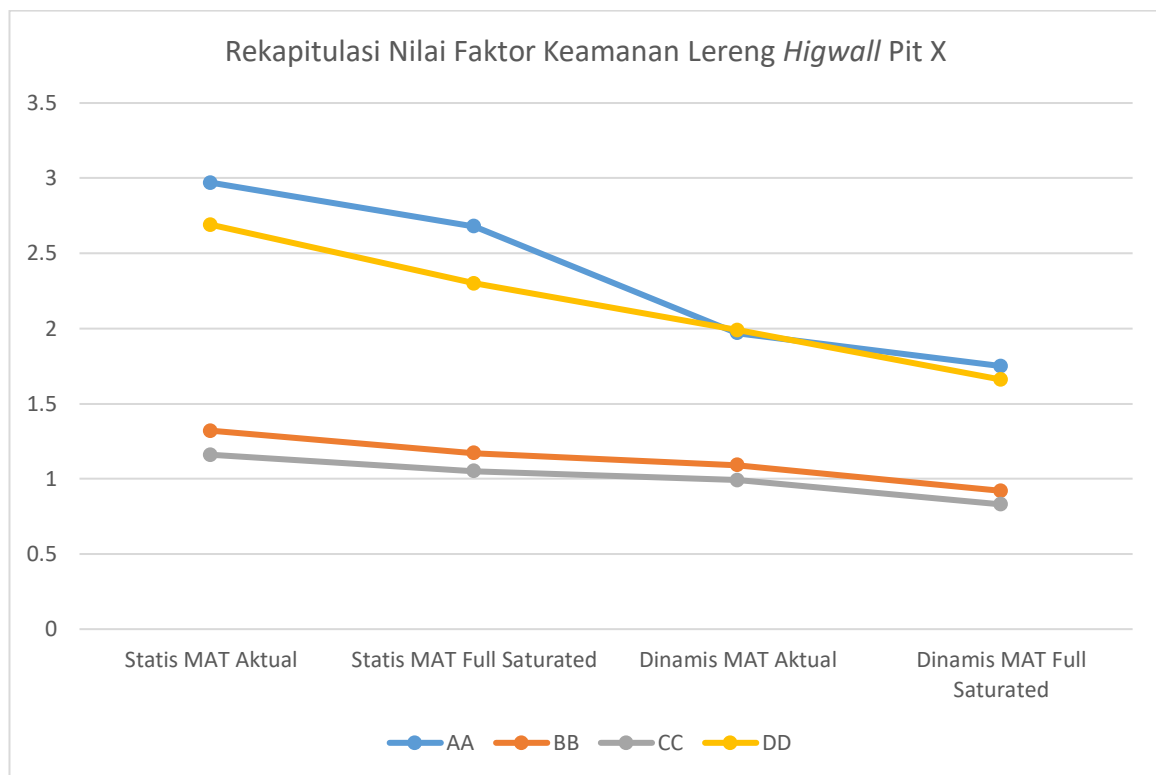
Gambar 6. Analisis kestabilan lereng dinamis dengan muka air *full saturated* sayatan AA–DD

Hasil simulasi 4 (empat) sayatan di lereng daerah penelitian (Gambar 7), menunjukkan bahwa sayatan AA terjadi pengurangan nilai FK sebesar 100 % untuk

MAT aktual antara keadaan statis dan dinamis. MAT jenuh penuh dari keadaan statis ke keadaan dinamis sebesar 93 %. Nilai FK sayatan BB turun sebesar 24 %

untuk MAT jenuh penuh dari keadaan statis ke keadaan dinamis. MAT aktual lengkap sebesar 23 % dari keadaan statis ke keadaan dinamis. Nilai FK untuk sayatan CC menurun sebesar 17 % untuk MAT aktual saat berpindah dari kondisi statis ke kondisi dinamis. MAT lengkap sebesar 22 % saat beralih dari kondisi statis ke kondisi dinamis. Kondisi MAT statis ke kondisi dinamis, nilai FK mengalami penurunan sebesar 60 % pada Insisi D dan kondisi MAT

statis jenuh penuh ke kondisi MAT dinamis jenuh penuh mengalami penurunan sebesar 63 %. Menurut Hakim (2023), karakteristik batubara sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas batubara. Karakteristik dilihat dari dua sisi yang berbeda dan berkaitan dengan parameter fisika dan kimia. Nilai faktor keamanan kemungkinan sangat dipengaruhi oleh tegangan seismik, yang merupakan faktor dinamis.



Gambar 7. Grafik rekapitulasi nilai faktor keamanan pada sayatan AA–DD

Peneliti terdahulu, seperti Khodijah (2022) menjelaskan bahwa nilai percepatan getaran akan berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan. Percepatan gempa menjadi sumber getaran seismik horizontal dan pengaruh alat berat menjadi sumber getaran seismik vertikal. Kedua faktor ini berkontribusi terhadap kekuatan pendorong pada lereng, sehingga memperkuat dampak gempa. Gaya penahan lereng tetap konstan sedangkan gaya penggerak bertambah akibat faktor getaran, maka pendekatan kesetimbangan batas memperhitungkan kemungkinan faktor keamanan menurun

atau lereng berada dalam keadaan tidak stabil.

Analisis investigasi geoteknik lebih lanjut, seperti mempertimbangkan pengaruh alat berat terhadap kondisi *ramp* antara alat tersebut dan tekanan air pori, penting untuk menilai suatu lereng akan mengalami longsor atau tidak. Dengan adanya kedua faktor ini, penyelidikan geoteknik terhadap stabilitas lereng dapat dilakukan dengan lebih terjamin.

## KESIMPULAN



Hasil simulasi menunjukkan bahwa gaya gempa horizontal sebesar 0,075 g pada lereng dapat menurunkan nilai faktor keamanan hampir 53 %. Dari 4 (empat) sayatan yang dilakukan pada analisis kestabilan lereng, terdapat dua yaitu AA dan DD yang stabil. Perubahan nilai faktor keamanan dipengaruhi oleh gaya gempa horizontal dan faktor lain seperti geometri lereng, muka air tanah dan litologi. Nilai percepatan akibat getaran akan mempengaruhi nilai faktor keamanan. Semakin besar nilai dari besaran pada gaya penggerak lereng, maka lereng tersebut akan semakin tidak stabil secara dinamis. Jika terjadi gempa bumi dengan percepatan 0,075 g maka lereng BB dan CC tersebut akan mengalami longsor sesuai dengan nilai percepatan getaran seismik yang digunakan, muka air tanah dan litologi yang menjadi penambah terjadinya longsor di lereng tersebut.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Bhumi Sriwijaya Perdana Coal yang telah memberikan izin untuk melakukan pendataan penelitian, terutama keputusan manajemen kelompok penelitian untuk mempublikasikan data dan koordinator program penelitian.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Argakoesoemah, R.M.I. & Kamal, A., 2004, Ancient Talang Akar Deepwater Sediments in South Sumatera Basin: a New Exploration Play, *Proceedings, Indonesia Petroleum Association*, 1:251-267.
- Arif, I., 2016, *Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*, Gramedia Pustaka Utama.
- Elcofa, D.G., Rochmana, Y.Z, Hastuti, E.W.D. & Gibran, M.A.F.K., 2023, Identifikasi Suksesi Delta Formasi Muaraenim Atas Daerah Tanjung Enim, Sumatera Selatan, *Journal of Geology Sriwijaya*.
- Frans, J.S., & Nurfalaq, M.H., 2019, Studi Geoteknik Pengaruh Muka Air Tanah Terhadap Kestabilan Lereng Tambang Batubara, *Prosiding Temu Profesi Tahunan*, PERHAPI.
- Gafoer S., Cobrie T. & Purnomo J, 1986, Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatera Selatan, skala 1:250.000, *Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi (P3G)*, Bandung.
- Ginger, D. & Fielding, K., 2005, Petroleum System and Future Potential of South Sumatera Basin, *Proceedings*, 30<sup>th</sup> Annual Convention Indonesian Petroleum Association, Jakarta.
- Hakim, A.S, 2023, Studi Karakteristik Batubara Untuk Menentukan Kualitas Batubara, *Journal of Geology Sriwijaya*.
- Ibrahim, M.M., Jati, S.N. & Surbakti, A.F.H., 2022, Parameter Kondisi Area Disposal Saat Unit Angkut Dumping, Jobsite KDC, Kalimantan Timur, *Jurnal Pertambangan*, Vol. 6 No. 1.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 1827/30/MEM/2018, 2018, Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang baik, *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, Jakarta.
- Khodijah, S., Monica, U.S., Ersyari, J., Khoirullah, N. & Sophian, R.I., 2022, Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis Pada Pit X, Tanjung Enim, Sumatra Selatan, *Padjadjaran Geoscience Journal*.
- 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>

- Morgenstern, N.R. & Price, V.E., 1965, The Analysis of the Stability of General Slip Surface, *Geotechnique*, Vol.15, No 1 pp.77-93.
- Moshab, 1997, Geotechnical Considerations in Underground Mines, Guidelines, *Government of Western Australia*.
- Takwin, G.A., Turangan, A.E. & Rondonuwu, S.G., 2017, Analisis Kestabilan Lereng Metode Morgenstern-Price (Studi Kasus: Diamond Hill Citraland), *Jurnal Tekno*, 15 (67), 66-76.
- Van Bemmelen, R.W., 1949, *The Geology of Indonesia*, Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
- Wesley, L.D. & Pranyoto, S., 2010, Mekanika Tanah: untuk Tanah Endapan & Residu, *Penerbit Andi*: Yogyakarta.
- Wyllie, D.C. & Mah, C.W., 2004, Rock Slope Engineering: Civil and Mining 4<sup>th</sup> Edition, *Spon Press*, Taylor & Francis Group.