

Analisis Stabilitas Lereng *Disposal* pada Rancangan Desain *In Pit Dump* E, Daerah Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Sumatra Selatan

Septika Prasetiawati¹⁾, M. Hajjrol Dava²⁾, Daniel Radityo^{*1)}

¹⁾Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral Dan Energi, UPN Veteran Yogyakarta

²⁾Engineering Division PT. Pamapersada Nusantara

*daniel.radityo@upnyk.ac.id

ABSTRAK – Metode penambangan terbuka (*open pit mining*) batubara membutuhkan pendekatan efektif dalam manajemen material lapisan penutup (*overburden*), di mana penimbunan di bekas pit (*in pit dump*) sering diterapkan. Namun, genangan air dan akumulasi lumpur di dasar pit merupakan variabel kritis yang meningkatkan potensi ketidakstabilan lereng dan risiko longsor. Penelitian ini bertujuan menganalisis kuantitatif kestabilan lereng desain *disposal in pit dump* di PT Pamapersada Nusantara, Muara Enim, Sumatera Selatan, fokus pada dampak kondisi lumpur maksimal. Analisis stabilitas dilakukan menggunakan pendekatan *Limit Equilibrium Method* (LEM), metode Morgenstern-Price, pada enam penampang. Empat penampang (A-D) untuk desain awal dan dua penampang (E-F) untuk kondisi lumpur maksimal. Hasil perhitungan faktor keamanan (FK) menunjukkan kontras signifikan. Berdasarkan standar Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018 ($FK > 1,3$), hanya penampang C-C' ($FK = 2,304$) dan D-D' ($FK = 2,271$) yang tergolong aman. Sebaliknya, empat penampang tersisa (A-A', B-B', E-E', dan F-F') memiliki nilai $FK < 1,3$. Secara spesifik, penampang E-E' dan F-F' menunjukkan FK yang sangat rendah, menegaskan bahwa kehadiran lumpur adalah faktor dominan penyebab ketidakstabilan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar lereng timbunan berisiko tinggi mengalami longsor dan dikategorikan tidak aman. Oleh karena itu, hasil analisis ini memberikan gambaran yang dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan desain ulang geometri lebih lanjut.

Kata kunci: *Disposal In Pit Dump*, Faktor Keamanan, Kestabilan Lereng, Morgenstern-Price, Muara Enim

Abstract - *Open pit mining for coal requires an effective approach to overburden management, frequently employing in pit dumping (spoil disposal in excavated pits). However, water ponding and mud accumulation at the pit floor are critical variables that increase the potential for slope instability and the risk of landslides. This research aims to quantitatively analyze the stability of the proposed in pit dump design slopes at PT Pamapersada Nusantara, Muara Enim, South Sumatra, focusing on the impact of maximum mud conditions. The stability analysis was conducted using the Limit Equilibrium Method (LEM), specifically the Morgenstern-Price method, applied across six cross-sections. Four sections (A–D) represent the initial design, and two sections (E–F) represent the maximum mud conditions. The calculated Factor of Safety (FS) revealed significant contrasts. Based on the standard set by the Minister of Energy and Mineral Resources Decree No. 1827 K/30/MEM Year 2018 ($FS > 1.3$), only sections C–C' ($FS = 2.304$) and D–D' ($F = 2.271$) are classified as safe. Conversely, the four remaining sections (A–A', B–B', E–E', and F–F') have FS values below the critical threshold of 1.3. Specifically, sections E–E' and F–F' showed very low FS values, confirming that the presence of mud is the dominant factor causing instability. This indicates that most of the dump slopes are at high risk of failure and categorized as unsafe. Consequently, these analysis results provide a critical foundation for consideration in the planning of future slope geometry redesigns.*

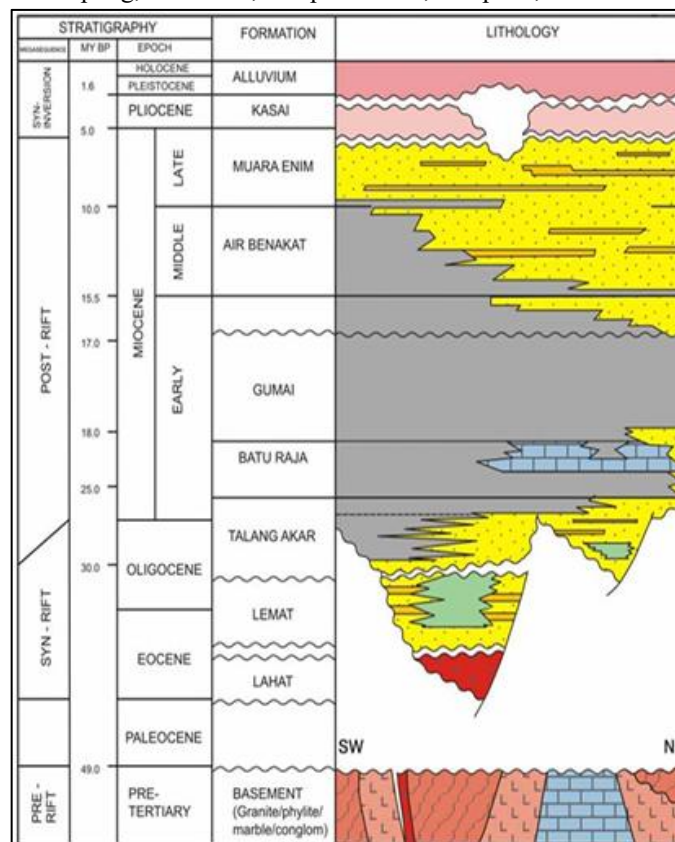
Keywords: *In-pit dump disposal, Factor of Safety (FoS), Slope stability, Morgenstern-Price method, Recommendations, Muara Enim*

PENDAHULUAN

Penambangan terbuka (*open pit mining*) merupakan metode yang umum digunakan dalam industri batubara dengan cara mengupas lapisan penutup (*overburden*) untuk memperoleh batubara. Material *overburden* yang dikupas kemudian dipindahkan ke area pembuangan (*disposal*), salah satunya melalui sistem *in pit dump* yaitu penimbunan langsung pada pit bekas tambang. Sistem ini dianggap lebih efisien, namun memiliki tantangan teknis terkait perencanaan geometri dan kestabilan lereng. Kondisi dasar *disposal* daerah penelitian tergenang air atau lumpur yang berpotensi meningkatkan tekanan pori dan menurunkan kekuatan geser material, sehingga potensi ketidakstabilan lereng dan longsor menjadi lebih tinggi (Hoy dkk., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis kestabilan lereng *disposal in pit dump* menggunakan *Limit Equilibrium Method* (LEM) dengan metode Morgenstern-Price untuk menilai kondisi keamanan lereng berdasarkan geometri yang ada. Dengan adanya analisis desain *in pit dump* diharapkan dapat menilai kondisi keamanan desain lereng berdasarkan nilai faktor keamanan (FK) sesuai dengan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 K/30/MEM Tahun 2018.

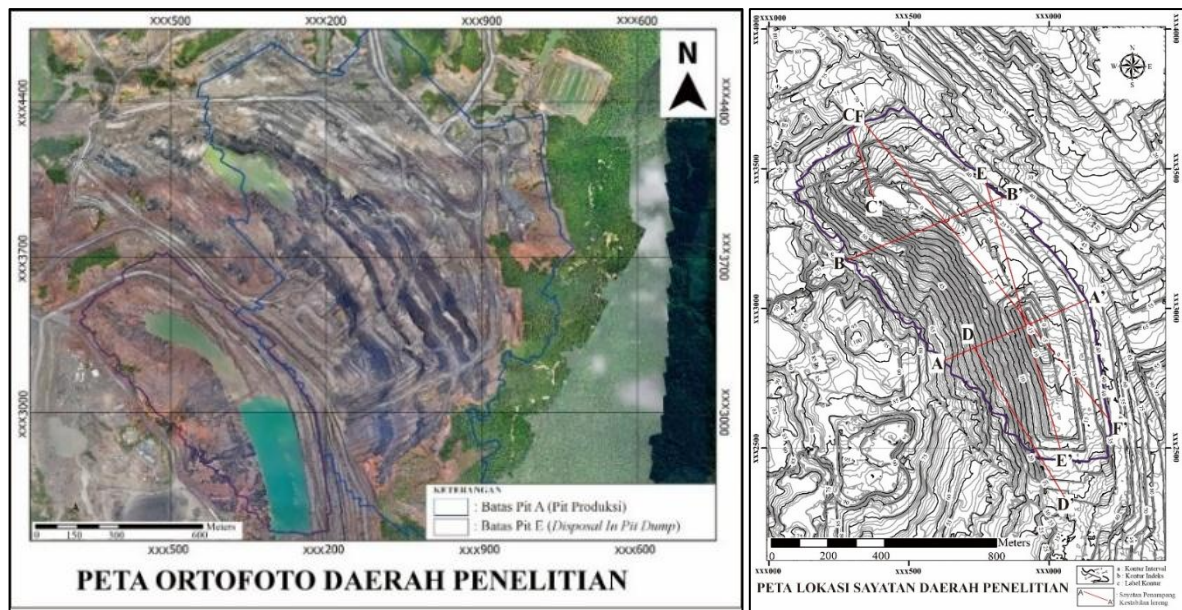
Lokasi Penelitian

Area penelitian ini terletak di salah satu wilayah penambangan PT Pamapersada Nusantara, Muara Enim, Sumatera Selatan. Secara fisiografi, daerah penelitian terletak di Cekungan Sumatra Selatan (Bemmelen, 1949) yang secara spasial berada dalam Formasi Airbenakat (Tma) dan Formasi Muara Enim (Tmpm), dan Satuan Gunung Api Purba (Qhv) (Gafoer dkk, 2007) dengan litologi batulempung, batulanau, batupasir tufan, batupasir, dan batubara.



Gambar 1. Kolom Stratigrafi Sumatra Selatan (Ginger, D., dan Fielding, 2005)

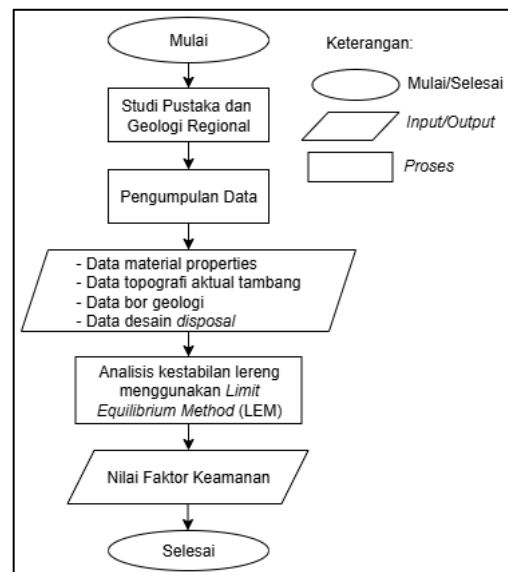
Lokasi penelitian terbagi menjadi dua zona fungsional yaitu Pit A (area eksploitasi aktif) dan Pit E (area bekas tambang yang kini menjadi *disposal in pit dump*). Pit E terletak di sebelah barat Pit A, menerima penimbunan material lapisan penutup (*overburden*) dari Pit A. Karakteristik geoteknik Pit E ditandai oleh lereng bekas galian (*highwall* dan *lowwall*) serta dua *sump* yang terisi air dan lumpur sisa tambang. Analisis dilakukan pada enam penampang dengan empat penampang (A-D) untuk desain awal dan dua penampang (E-F) untuk kondisi lumpur maksimal (gambar 2 kanan)



Gambar 2. Kenampakan Ortofoto Daerah Penelitian (kiri) dan Peta Lokasi Pengamatan Litologi Daerah Penelitian (kanan)

METODE

Alur penelitian ini terangkum dalam bagan alir penelitian (gambar 3). Data didapatkan dari perusahaan yang berupa data material properties, data topografi aktual tambang, data desain *disposal*, dan data seismik.



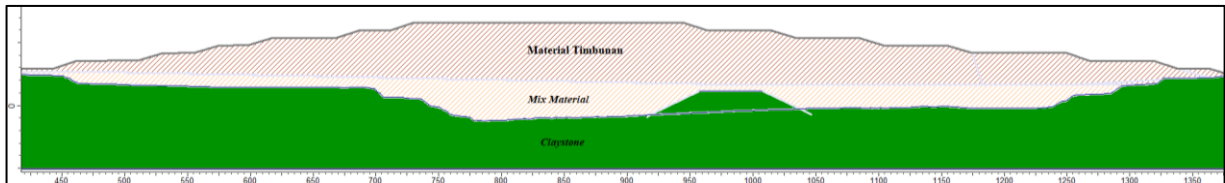
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Daerah penelitian terdiri dari dua pit yaitu Pit A sebagai pit produksi dan Pit E area *disposal in pit dump* sebagai daerah studi kasus. Material tidak ekonomis dari Pit A akan ditimbun ke Pit E. Adapun data yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

1. Data yang digunakan dari data sekunder perusahaan berupa data *basic properties soil* berupa *unit weight*, kohesi, dan sudut geser dalam (tabel 1). Claystone merupakan material insitu dari lokasi *disposal*, timbunan material berasal dari hasil rombakan material tidak ekonomis dari Pit A, dan *mix material* merupakan material yang berasal dari material Pit A yang memiliki nilai *basic properties* yang lebih tinggi dari material lain yang berfungsi sebagai material dasar timbunan.

Tabel 1. Sifat Fisik dan Mekanik Material Pit (Sumber: PT. Pamapersada Nusantara, 2025)

Material	Unit Weight Wet (kN/m ³)	Unit Weight Dry (kN/m ³)	Cohession (kPa)	Friction Angle (...°)
Claystone	20,71	17,63	38,52	14,76
Timbunan Material	18,12	15,3	17,04	14,44
Mix Material	15,3	15,3	7	5



Gambar 1. Model Material pada Disposal

2. Beban seismik digunakan secara terbatas hanya sebagai beban horizontal tetap (*pseudo-static*) dalam simulasi berulang analisis bersifat statis. Nilai koefisien seismik sebesar 0,3 yang dianggap mewakili karakteristik getaran lokal akibat peledakan rutin di area tambang.
3. Analisis dilaksanakan sesuai klasifikasi nilai faktor keamanan berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 (tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi Nilai Faktor Keamanan (KEPMEN ESDM NO 1827 K/30/MEM/, 2018)

Jenis Lereng	Keparahan Longsor (Consequences of Failure/ CoF)	Kriteria dapat diterima (Acceptance Criteria)		
		Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor (Probability of Failure) (maks) PoF (FK≤1)
Lereng tunggal	Rendah s.d. Tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
Inter-ramp	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	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	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Metode Kestimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Metode Keseimbangan Batas (LEM) adalah analisis kestabilan yang hanya menggunakan kesetimbangan gaya statis pada lereng dan mengamabikan tegangan dan regangan yang ada pada lereng. Kondisi kestabilan lereng dalam metode kesetimbangan batas dinyatakan dalam bentuk indek faktor keamanan (Arif, 2016).

Metode Morgenstern-price

Metode Morgenstern-Price adalah salah satu metode analisis yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas (Morgenstern & Price, 1965 dalam Kusuma, 2024). Metode ini menggunakan asumsi yang sama dengan metode kesetimbangan batas umum yaitu terdapat hubungan antara gaya geser antar irisan dan gaya normal antar irisan. Metode Morgenstern-price dipilih karena mampu memberikan hasil yang lebih akurat dengan mempertimbangkan keseimbangan gaya dan momen pada elemen lereng (Fan dkk., 2021). Metode ini digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan. Metode ini dapat diasumsikan dengan persamaan (Kusuma, 2024):

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

Keterangan :

P = Gaya Normal; c' = kohesi (jika analisa dalam kondisi undrained diambil cu jika dalam kondisi drained diambil nilai kohesi efektif); Wn = gaya akibat beban tanah ke- n ; α = sudut antara titik tengah bidang irisan dengan titik pusat bidang longsor; ϕ' = sudut geser tanah (jika dalam kondisi undrained nilai sudut geser=0); μ = tekanan air pori; xL, xR = gaya geser yang bekerja di tepi irisan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

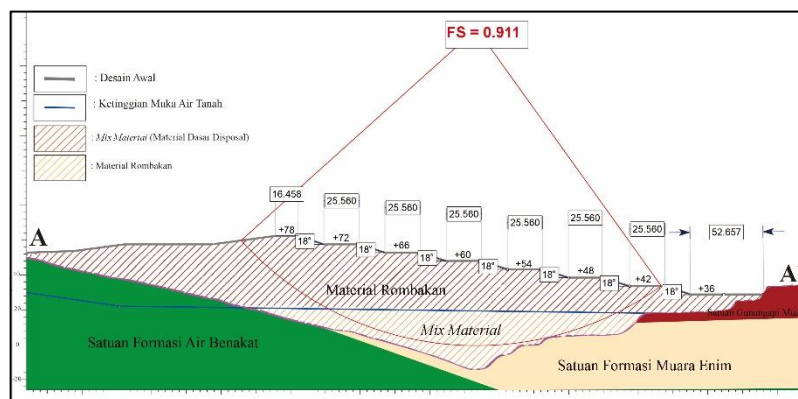
Analisis Kestabilan Lereng

Simulasi analisis kestabilan lereng desain *disposal in pit dump* dilakukan dengan menentukan kondisi muka air tanah, material properties dan koefisien seismik.

1. *Mix material* merupakan hasil uji litologi *sandstone* dan *claystone* dan timbunan material yang merupakan pengujian dari *disposal* lain dengan tujuan mendapatkan nilai sesuai keadaan lapangan
2. Kondisi MAT pada area penelitian ditentukan berdasarkan data ketinggian muka air yang terdapat pada *sump* di wilayah *disposal in pit dump*. *Sump* pertama memiliki kedalaman mencapai 17 meter, sedangkan *sump* kedua memiliki kedalaman yang lebih besar, yaitu sekitar 27 meter.
3. Untuk merepresentasikan pengaruh getaran (seismik) yang dominan berasal dari aktivitas peledakan operasional tambang (bukan gempa regional), analisis kestabilan lereng menggunakan pendekatan *pseudo-static* dengan menerapkan koefisien seismik horizontal tetap sebesar 0,03, yang merupakan estimasi konservatif dari 0,3 x PGA (0,10-0,15 g) dan dianggap mewakili karakteristik getaran lokal.

Analisis Sayatan A-A' Terhadap Desain *Yearly* Lereng Timur

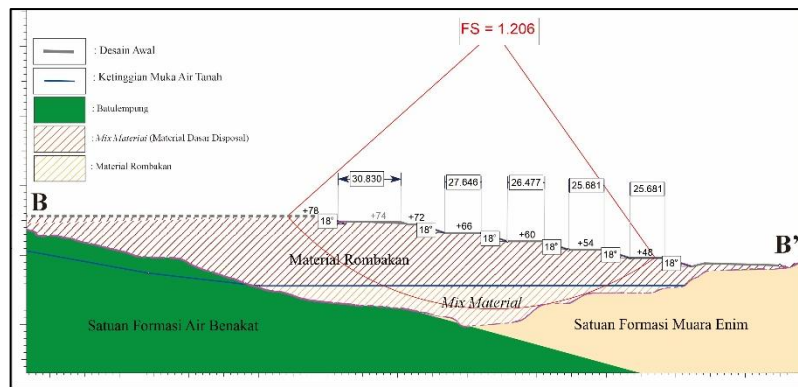
Penampang A-A' digunakan untuk menganalisis desain *yearly* dengan tujuh lereng tunggal (tinggi 6m, lebar 25m), membentuk sudut *overall slope* 9°. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 0,911 dinyatakan **tidak stabil** (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +78 m hingga +42 m.



Gambar 2 Hasil Analisis Sayatan A-A' Terhadap Desain *Yearly* Sebelah Timur

Analisis Sayatan B-B' Terhadap Desain *Yearly* Lereng Timur

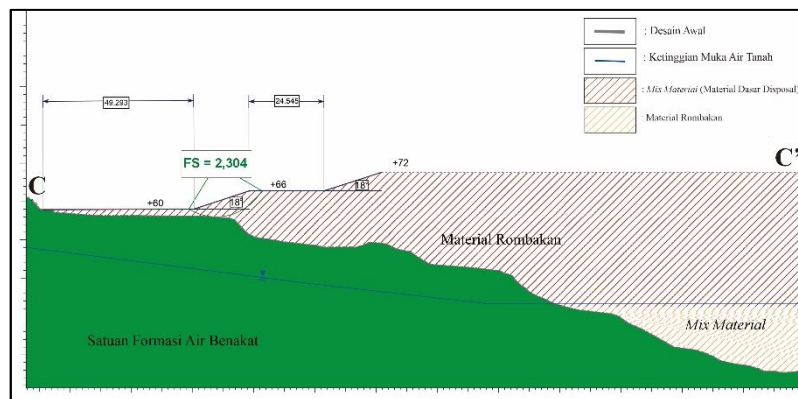
Penampang B-B' digunakan untuk menganalisis desain *yearly* bagian timur dengan tujuh lereng tunggal (tinggi 6m, lebar 25m), membentuk sudut *overall slope* 8°. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,206 dinyatakan **tidak stabil** (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +78 m hingga +48 m.



Gambar 3 Hasil Analisis Sayatan B-B' Terhadap Desain Yearly Sebelah Timur

Analisis Sayatan C-C' Terhadap Desain Yearly Lereng Utara

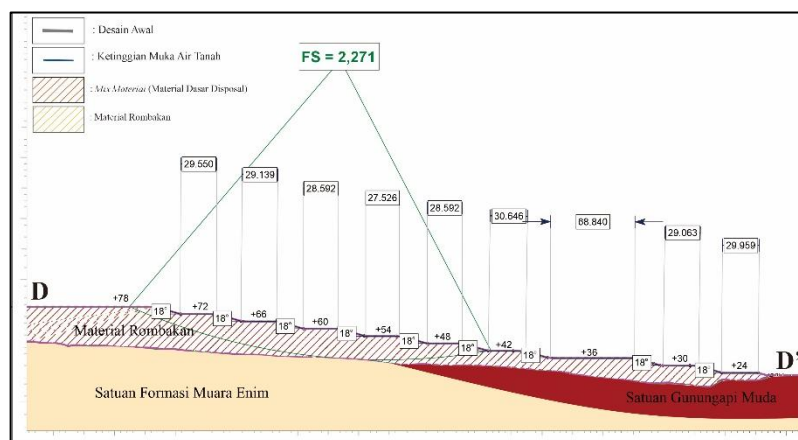
Penampang C-C' digunakan untuk mengevaluasi desain *yearly* bagian utara dengan empat lereng tunggal (tinggi 6m, lebar bervariasi), membentuk sudut *overall slope* 3°. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 2,304 dinyatakan stabil (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +66 m hingga +60 m.



Gambar 4 Hasil Analisis Sayatan C-C' Terhadap Desain Yearly Sebelah Utara

Analisis Sayatan D-D' Terhadap Desain Yearly Lereng Selatan

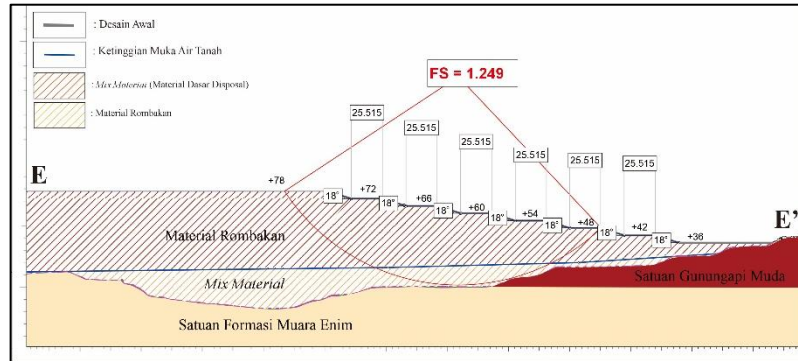
Penampang D-D' digunakan untuk mengevaluasi desain *yearly* bagian selatan dengan sepuluh lereng tunggal (tinggi 6m, lebar bervariasi), membentuk sudut *overall slope* 6°. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 2,271 dinyatakan stabil (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +78 m hingga +42 m.



Gambar 5 Hasil Analisis Sayatan D-D' Terhadap Desain Yearly Sebelah Selatan

Analisis Sayatan E-E' Terhadap Ketebalan Lumpur Maksimal

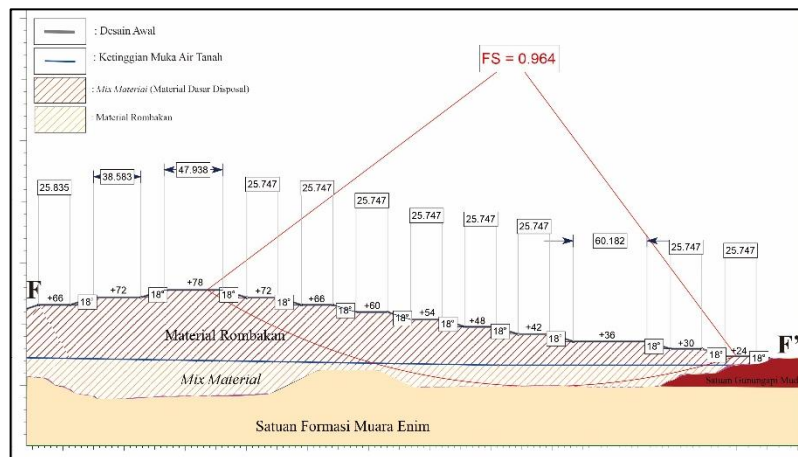
Penampang E-E' digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada kondisi desain lumpur maksimal di *sump* 2. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 1,249 tidak stabil (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +78 m hingga +48 m. Berdasarkan hasil analisis diperlukan kajian perbaikan desain untuk area ketebalan lumpur maksimal.



Gambar 6 Hasil Analisis Sayatan E-E' Terhadap Ketebalan Lumpur Maksimal *Sum* 2

Analisis Sayatan F-F' Terhadap Ketebalan Lumpur Maksimal

Penampang F-F' digunakan untuk mengevaluasi kestabilan lereng pada kondisi desain lumpur maksimal di *sump* 1. Hasil analisis kestabilan menunjukkan Faktor Keamanan (FK) sebesar 0,964 tidak stabil (KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018) dengan busur longsor teridentifikasi antara elevasi +78 m hingga +42 m. Berdasarkan hasil analisis diperlukan tinjauan ulang untuk meningkatkan stabilitasnya.



Gambar 7 Hasil Analisis Sayatan F-F' Terhadap Ketebalan Lumpur Maksimal *Sum* 1

Hasil analisis desain *disposal* dapat disajikan data tabel dari sayatan A hingga F sebagai berikut (tabel 3):

Tabel 3 Hasil Analisa Kestabilan Lereng *Disposal*

Sayatan	overall slope (°)	slope busur longsor (°)	elevasi tertinggi (m)	FK	Kondisi
A-A'	9	7	78	0,911	tidak stabil
B-B'	8	6	78	1,206	tidak stabil
C-C'	3	11	78	2,304	stabil
D-D'	6	7	78	2,271	stabil
E-E'	8	7	78	1,249	tidak stabil
F-F'	8	7	78	0,964	tidak stabil

Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (KEPMEN ESDM) Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018, kriteria keamanan minimal untuk analisis kestabilan lereng telah ditetapkan. Nilai Faktor Keamanan (FK) yang direkomendasikan adalah 1,1 untuk lereng tunggal dan 1,3 untuk lereng keseluruhan (*overall slope*), dengan batasan probabilitas kelongsoran maksimum sebesar 10%. Oleh karena penelitian ini berfokus pada analisis lereng keseluruhan, maka kriteria minimum FK agar lereng dianggap aman dan stabil harus lebih besar dari 1,3 ($FK > 1,3$).

PENUTUP

Secara keseluruhan, tendensi kegagalan lereng di lapangan dinilai sangat tinggi dan mendesak. Hal ini didasarkan pada hasil analisis *overall slope stability* (kestabilan lereng keseluruhan) yang menunjukkan bahwa empat dari enam sayatan yang dievaluasi memiliki nilai Faktor Keamanan (FK) 1.3, sehingga tidak memenuhi kriteria keamanan minimal yang disyaratkan oleh KEPMEN ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018 ($FK > 1.3$). Kondisi tersebut diperburuk oleh keberadaan lumpur dan air pada *sump*, yang secara signifikan memengaruhi penurunan kestabilan lereng. Oleh karena itu, diperlukan kajian dan rekomendasi desain tindak lanjut untuk meningkatkan kestabilan lereng *disposal*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). *geoteknik tambang*. PT Granedia.
- Fan, Q., Lin, J., Sun, W., Lu, J., & Chen, P. (2021). Analysis of Landslide Stability Based on the Morgenstern-Price Method. *E3S Web of Conferences*, 299(August 2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202129902019>
- Gafoer, S., T.C. Amin, J. P. (2007). *Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatera Selatan*. Pusat Survey Geologi.
- Ginger, D., dan Fielding, K. (2005). The Petroleum System and Future Potential of The South Sumatra Basin. *Proceedings Indonesian Petroleum Association 30th Annual Convention*.
- Hoy Menglim, Cong Bien Doan. Suksun Horpibulsuk, A. A. (2024). Investigation of a large-scale waste dump failure at the Mae Moh mine in Thailand. *Engineering Geology*, 329(1):107. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2023.107400>
- Indonesia, R. (2018). Keputusan Menteri ESDM Nomor 1827 K 30 MEM 2018. In *Jakarta: Sekretariat Menteri Energi dan Sumber Daya Minereal*.
- Kusuma, S. M. (2024). Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Keseimbangan Batas Dalam Kondisi Statis dan Dinamis pada Pit X, Musi Banyuasin, Sumatera Selatan. *Journal of Geology Sriwijaya*, 3(1), 24–33. <https://doi.org/10.62932/jgs.v3i1.2345>
- Republik Indonesia. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*
- Van Bemmelen, R. . (1949). *The Geology of Indonesia*,. Government Printing Office.