

## Evaluasi Pengaruh *Settling Pond* terhadap Kestabilan Lereng *Highwall* pada Tahap Optimalisasi Penambangan Batubara

### *Evaluation of the Influence of the Settling Pond on Highwall Slope Stability during the Optimization Phase of Coal Mining*

Septi Wulandari<sup>1\*</sup>, Hartawi Riskha<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup> Program Studi Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

<sup>1</sup> PT. Ansa Inti Resources

\*Email Korespondensi: septiwulandari@itny.ac.id

Email: hartawi.riskha@gmail.com

#### ABSTRAK

Kajian kestabilan lereng pada sisi *highwall* pada tambang batubara PT. X dilakukan dalam rangka mendukung rencana optimalisasi penambangan seam M dan N agar diperoleh cadangan batubara secara lebih efisien tanpa mengurangi faktor keselamatan tambang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh keberadaan *settling pond* terhadap kestabilan lereng *highwall* serta menentukan kelayakan desain geometri lereng yang diajukan. Analisis dilakukan menggunakan data geoteknik berupa sifat fisik dan mekanik batuan, kondisi bidang diskontinuitas, serta parameter massa batuan berdasarkan metode *Rock Mass Rating* (RMR) dan kriteria kekuatan Hoek–Brown. Nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) dianalisis pada kondisi dinamis dengan mempertimbangkan percepatan seismik sebesar 0.08 g dan muka air tanah berada pada 80–85% dari tinggi lereng. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai FK minimum pada kondisi dinamis adalah 1.072 dengan PK sebesar 2.608%, yang masih berada di atas batas aman sesuai Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018. Hal ini menandakan bahwa lereng *highwall* berada dalam kondisi stabil, dan keberadaan *settling pond* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap kestabilan global. Dengan demikian, rancangan lereng hasil desain optimalisasi dapat diterapkan secara aman dalam kegiatan operasional tambang.  
**Kata kunci:** kestabilan lereng, *highwall*, faktor keamanan, Hoek–Brown

#### ABSTRACT

The slope stability analysis of the *highwall* of PT. X coal mining was conducted to support the optimization plan for the mining of seams M and N, aiming to obtain coal reserves more efficiently without compromising mine safety. This study aims to evaluate the influence of the existing *settling pond* on the stability of the *highwall* slope and to determine the feasibility of the proposed slope geometry design. The analysis was carried out using geotechnical data, including physical and mechanical properties of rocks, discontinuity conditions, and rock mass parameters based on the *Rock Mass Rating* (RMR) system and Hoek–Brown failure criterion. The Safety Factor (SF) and Probability of Failure (PF) were analyzed under dynamic conditions, considering a seismic acceleration of 0.08 g and groundwater level at 80–85% of the total slope height. The results showed that the minimum SF under dynamic conditions was 1.072, with a PF of 2.608%, which remains above the safety threshold according to the Decree of the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) No. 1827 K/30/MEM/2018. These findings indicate that the *highwall* slope is stable, and the presence of the *settling pond* has no significant impact on its global stability. Therefore, the optimized slope design can be safely applied in future mining operations.

**Keyword :** slope stability, *highwall*, safety factor, Hoek–Brown

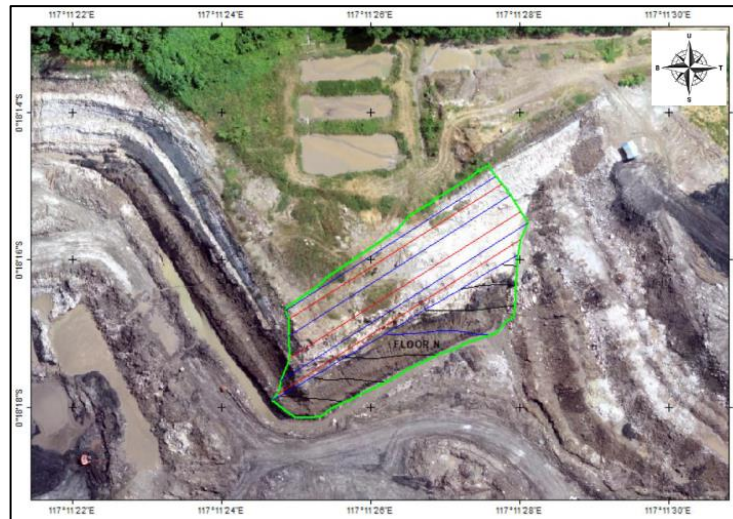
#### PENDAHULUAN

Rencana pengoptimalan pada sisi *highwall* pada tambang Batubara PT. X dilakukan dalam rangka memperoleh cadangan batubara pada seam M dan N secara lebih efisien tanpa mengurangi faktor keselamatan tambang. Upaya optimalisasi ini dilakukan dengan menyesuaikan desain geometri lereng *highwall* agar dapat memperluas area penambangan ke arah batas *pit limit*. Berdasarkan desain yang telah dikembangkan oleh tim *mine planning*, jarak antara batas *pit limit* sisi *highwall* dengan kompartemen *settling pond* eksisting diketahui sekitar 23 meter. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan untuk melakukan kajian teknis terhadap kestabilan lereng *highwall* guna memastikan bahwa keberadaan *settling pond* tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap potensi kelongsoran. Pengaruh kegiatan penambangan merupakan salah satu faktor penting yang

mempengaruhi nilai kestabilan lereng [2]. Adanya infrastruktur *settling pond* di dekat area *highwall* menjadi penting agar operasional penambangan tidak terganggu.

Analisis kestabilan lereng menjadi aspek penting dalam proses perancangan tambang terbuka, terutama pada kondisi di mana terdapat interaksi antara sistem geoteknik tambang dan infrastruktur penunjang seperti *settling pond*. Pembentukan lereng penambangan akan menimbulkan potensi permasalahan stabilitas lereng yang harus dianalisa dalam tahap awal kegiatan[5]. Keberadaan air dalam massa batuan dapat menurunkan kekuatan geser material dan meningkatkan tekanan pori, yang pada akhirnya dapat memicu potensi ketidakstabilan lereng. Lokasi dengan resiko tinggi dan melibatkan banyak aktivitas alat dan manusia harus dipastikan nilai keamanannya [6][7]. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi kuantitatif terhadap nilai Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) untuk menentukan tingkat kestabilan lereng pada kondisi aktual di lapangan.

Kajian ini dilakukan dengan mempertimbangkan sejumlah asumsi teknis sebagai dasar analisis. Data permukaan (*surface*) yang digunakan merupakan hasil *intersection* antara situasi terkini, situasi tahun 2024 (sebelum adanya IPD), serta desain pit optimalisasi *highwall*. Melalui analisis ini, diharapkan diperoleh gambaran menyeluruh mengenai tingkat kestabilan lereng *highwall* pada kondisi aktual serta rekomendasi teknis yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam proses desain dan operasional tambang ke depan.



**Gambar 1.** Lokasi area penelitian pada sisi *highwall* eksisting terhadap batas *pit limit*

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan memperoleh data lapangan yang diperoleh digunakan untuk analisis data sebagai metode langsung yang digunakan sebagai metode langsung, sedangkan metode tidak langsung menggunakan dasar-dasar literatur untuk pengolahan data. Tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap persiapan

Pada tahap ini dilakukan studi literatur serta peninjauan lapangan secara langsung ke daerah penelitian.

2. Pengambilan data

Pengumpulan data pada tahapan ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer dilakukan dengan *mapping area highwall* yang terdiri dari foto kondisi aktual area *highwall* maupun area *settling pond* yang menjadi *concern* penelitian, serta parameter *joint condition*, dan nilai kekerasan batuan. Sedangkan data sekunder berupa hasil uji sifat fisik dan mekanik batuan.

3. Pengolahan data

Tahapan pengolahan data dalam penelitian sebagai berikut:

- a. Klasifikasi RMR

Klasifikasi RMR merupakan klasifikasi massa batuan dengan melakukan pembobotan berdasarkan data massa batuan antara lain nilai kuat tekan batuan utuh, *Rock Quality Designation* (RQD), spasi

bidang diskontinu dan kondisi umum air tanah pada bidang diskontinu [8]. Sistem penilaian batuan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Sistem penilaian batuan [Bien]

Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock mineral	Point-load strength index (Mpa)	>10	4-10	2-4	1-2	For the low range, uniaxial compression test is preferred		
	Rating	UCS (Mpa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-24	1-5	<1
2	Drill core RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		>2 m	0,6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Very rough surface</li> <li>• Not continuous</li> <li>• Not separation</li> <li>• Unweathered wall rock</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slightly rough surface</li> <li>• Separation &lt;1 mm</li> <li>• Slightly weathered walls</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slightly rough surfaces</li> <li>• Separation &lt;1 mm</li> <li>• Highly weathered walls</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Slickensided surfaces, or</li> <li>• Gouge &lt;5 mm thick, or</li> <li>• Separation 1-5 mm (continuous)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soft gouge &gt;5 mm thick, or</li> <li>• Separation &gt;5 mm (continuous)</li> </ul>		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	<10	10-25	25-125	>125		
		Ratio of joint water pressure to major principal stress	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5		
	General condition		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		

b. Analisis metode kriteria runtuh Hoek & Brown

Analisis Hoek-Brown menggunakan perhitungan untuk menduga kekuatan massa batuan dengan rumus [1]

$$\sigma'_i = \sigma'_i + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_3} + s \right)^a \tag{1}$$

Dengan:

$\sigma_1'$  : tegangan efektif maksimum

$\sigma_3'$  : tegangan minimum saat batuan runtuh

$\sigma_c$  : Kuat tekan UCS batuan utuh

$M_b$  : Penurunan konstanta material  $m_i$  yang berasal dari pengujian triaksial batuan utuh di laboratorium dengan besarnya:

$$m_b = m_i \exp \left( \frac{GSI-100}{28-14D} \right) \tag{2}$$

Penentuan kuat tekan ( $\sigma_c$ ), dan konstanta  $m_i$  didapatkan menggunakan analisis regresi non-linier yang didapatkan berdasarkan uji triaksial dengan:

$$y = m\sigma_{ci}x + s\sigma_{ci} \tag{3}$$

$$x = \sigma_3' \tag{4}$$

$$y = (\sigma_1' - \sigma_3')^2$$

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{n} \left[ \frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - (\sum x^2/n)} \right] \tag{5}$$

$$\sigma_{ci}^2 = \frac{\sum y}{\sigma_{ci}} \left[ \frac{\sum xy - (\sum x \sum y/n)}{\sum x^2 - (\sum x^2/n)} \right] \tag{6}$$

s dan a merupakan konstanta untuk massa batuan, dan dicari dengan persamaan:

$$s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad (7)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{\frac{-GSI}{1.5}} - e^{\frac{-20}{3}}\right) \quad (8)$$

## HASIL DAN ANALISIS

### Pembobotan Parameter *Rock Mass Rating* (RMR)

Penilaian kondisi massa batuan pada lokasi penelitian dilakukan dengan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR) dan Geological Strength Index (GSI). Hasil analisis RMR untuk tiga blok pengamatan ditunjukkan pada Tabel 2. Parameter yang dinilai meliputi UCS (*Uniaxial Compressive Strength*), RQD (*Rock Quality Designation*), jarak diskontinuitas, kondisi kekar (meliputi kemenerusan, bukaan, kekasaran, material pengisi, dan pelapukan), serta kondisi air tanah. Setiap parameter diberi bobot sesuai untuk memperoleh nilai total RMR [8].

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai total RMR untuk Blok 1, Blok 2, dan Blok 3 berturut-turut adalah 50, 52, dan 46. Ketiga blok tersebut termasuk dalam Kelas III (massa batuan sedang) dengan karakteristik massa batuan yang masih cukup baik namun telah mengalami pelapukan ringan hingga sedang serta memiliki beberapa bidang diskontinuitas yang cukup terbuka [8].

**Tabel 2.** Tabel pembobotan klasifikasi RMR [8]



No	Parameter	Blok 1		Blok 2		Blok 3	
		Nilai	Bobot	Nilai	Bobot	Nilai	Bobot
1	UCS	5-25 Mpa	2	5-25 Mpa	2	5-25 Mpa	2
2	RQD	50-75%	13	50-75%	13	40-50%	8
3	Jarak Diskontinuitas	200-600 mm	10	200-600 mm	10	60-200 mm	8
4	Kondisi kekar						
	- Kemenerusan	3-10 m	2	3-10 m	2	3-10 m	2
	- Bukaan	1-5 mm	1	0,3-0,5 mm	4	0,5-0,8 mm	4
	- Kekasaran	Sedikit kasar	3	kasar	5	Sedikit kasar	3
	- Material pengisi	Tidak ada	6	Tidak ada	6	Tidak ada	6
	- Pelapukan	Lapuk	3	Lapuk	3	Lapuk	3
5	Kondisi Air Tanah	lembab	10	basah	7	Lembab	10
	<b>Total Bobot RMR</b>		<b>50</b>		<b>52</b>		<b>46</b>
	<b>Kelas Massa Batuan</b>		<b>Kelas III</b>		<b>Kelas III</b>		<b>Kelas III</b>
			<b>Sedang</b>		<b>Sedang</b>		<b>Sedang</b>
	<b>GSI (Hasil Pengamatan)</b>		<b>35</b>		<b>38</b>		<b>35</b>







### Analisis Kestabilan Lereng

Analisis kestabilan lereng pada area penelitian dilakukan dengan menggunakan data parameter geoteknik dari beberapa jenis material penyusun lereng yang terdiri atas *disposal material*, *claystone*, *sandstone*, *coal*, *soil* (*back analysis*), dan *carbonaceous layer*. Pendekatan *back analysis* dilakukan setelah sebelumnya pernah terjadi longsor di dekat area penelitian. Setiap material memiliki karakteristik fisik dan mekanik yang berbeda sesuai dengan kondisi geologi dan tingkat pelapukan di lapangan. Parameter *Hoek-Brown* ( $m$ ,  $s$ , dan  $a$ ) memperlihatkan karakteristik massa batuan yang bervariasi antara kondisi sangat terlapuk hingga relatif utuh. Nilai parameter  $m$  yang rendah (0.13–0.35) pada lapisan *claystone* menunjukkan kondisi batuan lemah dengan banyak diskontinuitas, sedangkan nilai  $m$  yang lebih tinggi (hingga 1.34) pada *sandstone IB 3 Hoek* mengindikasikan batuan yang lebih kuat dan kompak. Nilai konstanta  $a$  yang berkisar antara 0.50–0.52.

Secara umum, hasil karakterisasi material menunjukkan bahwa potensi ketidakstabilan terbesar terdapat pada lapisan *disposal* dan *claystone*, terutama pada kondisi jenuh air. Sebaliknya, lapisan *sandstone* dan *coal* berperan sebagai penopang relatif stabil dalam sistem lereng.

**Tabel 3.** Material properti area penelitian

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	$m$	$s$	$a$	Water Surface	Hu Type
Disposal		18,94	Mohr-Coulomb	5,5	14,56					Water Surface	Constant
Claystone IB 2 Hoek		15,4	Generalised Hoek-Brown			3165	0,137702	0,000104464	0,508086	Water Surface	Constant

Claystone IB 3 Hoek		15,49	Generalised Hoek-Brown	3880	0,352651	0,00345938	0,501834	Water Surface	Constant
Sandstone IB 3 Hoek		17,36	Generalised Hoek-Brown	6186	1,43431	0,00147111	0,504048	Water Surface	Constant
Coal		12,25	Generalised Hoek-Brown	9790	0,907354	0,0199796	0,501071	Water Surface	Constant
Sandstone IB 1 Hoek_Back Analysis		17,44	Generalised Hoek-Brown	4200	0,152427	1,67017e-005	0,517064	Water Surface	Constant
Claystone IB 2 Hoek_Back Analysis		15,4	Generalised Hoek-Brown	2532	0,0724022	2,33091e-005	0,514908	Water Surface	Constant
Soil (Back Analysis)		17	Mohr-Coulomb	17	12,14			Water Surface	Constant
Carbonaceous		11,6	Mohr-Coulomb	27	7,21			Water Surface	Constant

Analisis kestabilan lereng dilakukan pada *groundwater level* 80-85% dari total tinggi lereng, sedangkan beban seismic yang digunakan sebesar 0.08 g. Nilai seismic tersebut telah mempertimbangkan cepat rambat gelombang hasil peledakan pada daerah penelitian.

Penentuan batas nilai faktor keamanan (FK) dalam analisis kestabilan lereng pada penelitian ini mengikuti Kepmen ESDM Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Berdasarkan klasifikasi tingkat konsekuensi atau keparahan longsor (*Consequence of Failure*), area yang dianalisis termasuk dalam kategori “menengah”, karena potensi dampak yang ditimbulkan masih dapat dikendalikan namun dapat memengaruhi operasional tambang apabila terjadi kelongsoran.

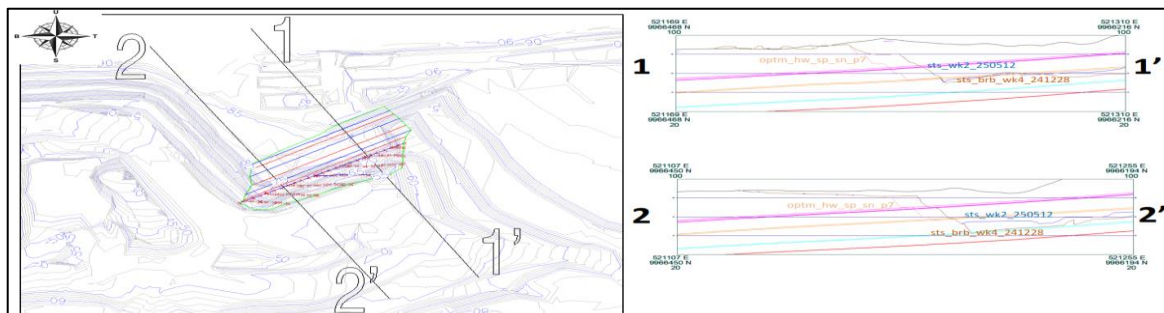
Mengacu pada ketentuan tersebut, untuk kategori keparahan longsor menengah, nilai faktor keamanan minimum (FK) yang dapat diterima adalah 1,3 untuk kondisi statis dan 1,05 untuk kondisi dinamis, dengan tingkat probabilitas kelongsoran (PK) maksimum sebesar 10%. Nilai ini digunakan sebagai acuan dalam evaluasi hasil analisis kestabilan lereng baik pada skala lereng keseluruhan (*overall slope*) maupun sub-lereng (*inter-ramp*).

Dengan demikian, hasil perhitungan stabilitas yang menghasilkan  $FK \geq 1,3$  pada kondisi statis dan  $FK \geq 1,05$  pada kondisi dinamis dapat dinyatakan memenuhi kriteria kestabilan lereng yang dapat diterima sesuai dengan standar nasional yang berlaku di sektor pertambangan terbuka di Indonesia.

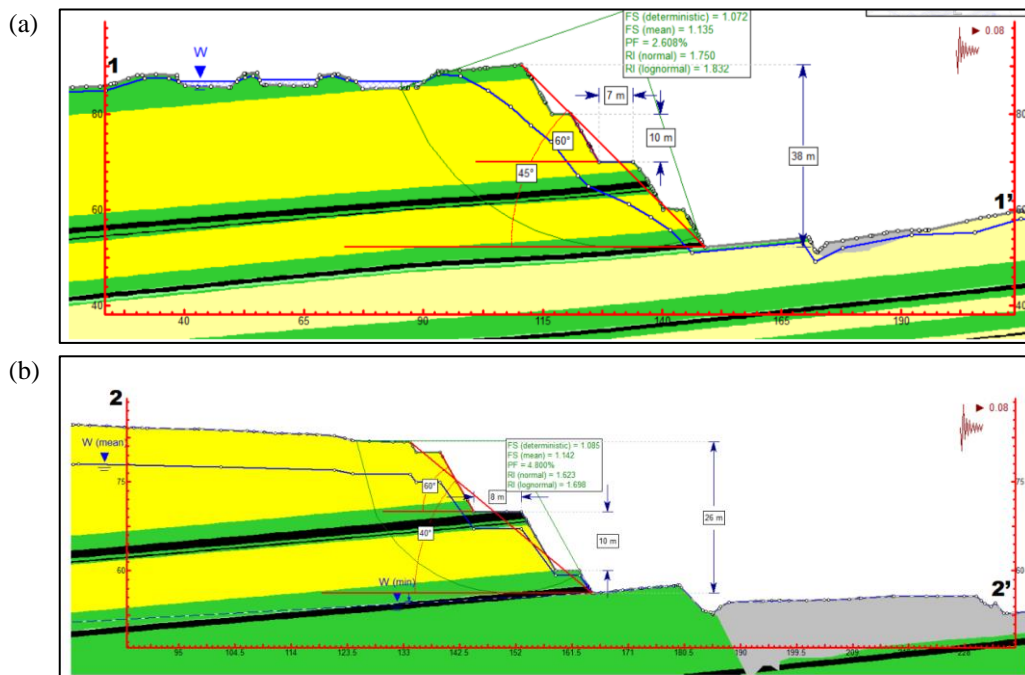
**Tabel 4.** Nilai FK dan PK [4]

Jenis Lereng	Keparahan Longsor ( <i>Consequences of Failure/ CoF</i> )	Faktor Keamanan (FK) Statis (Min)	Kriteria dapat diterima ( <i>Acceptance Criteria</i> )	
			Faktor Keamanan (FK) Dinamis (min)	Probabilitas Longsor ( <i>Probability of Failure</i> ) (maks) PoF ( $FK \leq 1$ )
Lereng tunggal	Rendah s.d. tinggi	1,1	Tidak ada	25-50%
<i>Inter-ramp</i>	Rendah	1,15-1,2	1,0	25%
	Menengah	1,2-1,3	1,0	20%
	Tinggi	1,2-1,3	1,1	10%
	Rendah	1,2-1,3	1,0	15-20%
Lereng keseluruhan	Menengah	1,3	1,05	10%
	Tinggi	1,3-1,5	1,1	5%

Analisis kestabilan lereng dilakukan pada dua penampang utama, yaitu penampang 1-1' dan penampang 2-2', yang merepresentasikan variasi geometri dan kondisi litologi pada area *highwall*. Kedua penampang dianalisis dengan mempertimbangkan kondisi dinamis, menggunakan percepatan seismic sebesar 0.08 g dan muka air tanah (*groundwater level*) pada kisaran 80-85% dari total tinggi lereng.



**Gambar 2.** Peta lokasi dan penampang melintang area penelitian



**Gambar 3.** (a) Hasil analisis kestabilan lereng *section 1-1'* (b) Hasil analisis kestabilan lereng *section 2-2'*

Pada penampang 1–1', hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai Faktor Keamanan (FK) minimum untuk kondisi dinamis adalah 1.135 (mean) dan 1.072 (deterministik). Nilai Probabilitas Kelongsoran (PK) tercatat sebesar 2.608%, yang menandakan potensi kelongsoran sangat kecil. Berdasarkan kriteria dari Kepmen ESDM No. 1827 K/30/MEM/2018, nilai tersebut masih berada di atas batas minimum yang diperbolehkan untuk kategori keparahan longsor menengah ( $FK \geq 1.05$ ;  $PK \leq 10\%$ ). Hal ini mengindikasikan bahwa lereng pada penampang 1–1' memiliki kondisi stabil, dengan resistensi geser yang cukup terhadap beban dinamis akibat aktivitas seismik maupun peledakan tambang.

Sementara itu, penampang 2–2' menunjukkan FK (mean) sebesar 1.142 dan FK (deterministik) sebesar 1.085, dengan PK sebesar 4.800%. Nilai ini masih memenuhi kriteria kestabilan yang dapat diterima, meskipun menunjukkan potensi kelongsoran sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan penampang 1–1'. Perbedaan tersebut disebabkan oleh variasi kemiringan lereng dan kondisi litologi lokal yang lebih curam pada area *section 2-2'*, di mana lapisan lemah seperti claystone dan disposal material lebih dominan dibanding area 1–1'.

Secara keseluruhan, kedua penampang menunjukkan stabilitas yang baik baik secara deterministik maupun probabilistik. Nilai FK untuk kedua penampang berada di atas ambang batas aman, sedangkan nilai PK di bawah 5%, yang menunjukkan bahwa lereng *highwall* dalam kondisi stabil dan aman untuk rencana optimalisasi penambangan. Hasil ini menegaskan bahwa geometri lereng hasil desain telah sesuai dengan kaidah teknik pertambangan yang baik dan dapat diterapkan tanpa risiko kelongsoran signifikan, dengan tetap memperhatikan pengelolaan air tanah dan kondisi drainase di sekitar area *settling pond*.

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang dilakukan pada sisi *highwall* untuk rencana optimalisasi penambangan seam M dan seam N, diketahui bahwa kondisi lereng pada desain yang diajukan menunjukkan keadaan stabil baik secara deterministik maupun probabilistik. Nilai minimum Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) masih berada di atas batas kriteria yang dipersyaratkan pada kondisi dinamis, sehingga geometri lereng hasil desain dapat diterapkan secara aman.

Jarak antara *settling pond* eksisting dengan batas desain *highwall* diketahui berkisar 23 meter, di mana berdasarkan analisis, keberadaan *settling pond* tersebut belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kestabilan global lereng. Permodelan muka air tanah (*groundwater*) dilakukan secara manual dengan asumsi Muka Air Tanah (MAT) berada pada 80–85% dari total tinggi lereng, sedangkan beban dinamis dalam analisis menggunakan percepatan seismik sebesar 0.08 g untuk mensimulasikan kondisi gempa.

Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa lereng *highwall* hasil desain optimalisasi dapat dibentuk sesuai rancangan yang diajukan, dengan tetap memperhatikan aspek teknis dan operasional di lapangan

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Prodi Teknik Pertambangan Institut Teknologi Nasional Yogyakarta dan PT. X atas kesempatan yang diberikan untuk melakukan penelitian di perusahaan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Hoek, et al, Hoek-Brown Failure Criterion 2002. *Edition, The Institution of Mining and Metallurgy*, London, 2002.
- [2] H. Trihatmono, et al., “Kajian Probabilitas Kemantapan Lereng pada *Highwall* untuk Rekomendasi Optimalisasi Pit Pelikan PT. Kaltim Prima Coal Site Sangatta Kabupaten Kutai Timur, Provinsi Kalimantan Timur,” *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 2, no. 2, pp 40-50, 2017.
- [3] I. Arif, Geoteknik Tambang Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng, *Gamedia Pustaka Utama*, Jakarta, 2016.
- [4] Menteri ESDM, “Kepmen No. 1827K/30/MEM/2028 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik,” 2018
- [5] M.M. Lollong, et al., “Analisis Kestabilan Lereng dengan Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Metode Slope Mass Rating (SMR) pada Penambangan Batupasir Daerah Bukit Pinang Kecamatan Samarinda Ulu Kota Samarinda Provinsi Kalimantan Timur,” *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, vol. 7, no. 1, pp 50-60, 2019.
- [6] M.P. Pangaribuan, N. Retonga, “Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Rock Mass Rating (RMR) dan Slope Mass Rating (SMR) untuk Menentukan Faktor Keamanan Lereng pada Tambang Tuf Desa Candirejo, Kecamatan Semin, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta,” *Jurnal Geosains dan Teknologi*, vol. 5, no.3, 2022.
- [7] S. Wibowo, et al., “Kajian Kestabilan Lereng Batuan Menggunakan Klasifikasi Massa Batuan, Metode Elemen Hingga, dan Analisis Batuan Jatuh,” *Padjajaran Geoscience Journal*, vol. 2, no. 5, 2018.
- [8] Z.T. Bieniawski, *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual For Engineers And Geologists In Mining, Civil, And Petroleum Engineering*, 51-62. New York: John Wiley & Sons, 1989.