



Analisis Daya Dukung Material Menggunakan Metode *Hoek And Bray* Pada Areal Penambangan Blok Lily Di PT. Tekindo Energi Site Lelilef Kecamatan Weda Tengah Kabupaten Halmahera Tengah

Ponnaisila Ilyas¹, Arbi Haya², Almun Madi^{3*}, George Belly Sahetapy⁴

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Unkhair, Ternate

^{2,3,4}Dosen Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Unkhair, Ternate

*Corresponding author: almunmadi@unkhair.ac.id

Article History

Received : 31 Agustus 2022

Revised : 27 September 2022

Accepted : 1 Oktober 2022

Abstrak

Geoteknik tambang adalah pengolahan teknis pertambangan dalam kegiatan yang menyeliputi penyelidikan tentang kestabilan pada suatu lereng, Metode *Hoek and Bray* merupakan metode yang dapat digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng. Untuk rancangan geometri lereng pada Blok Lily dapat menggunakan sudut kemiringan lereng pada kemiringan 20° (FK 1,26) untuk tinggi 5 meter material limonit, untuk material saprolit pada ketinggian 5 meter dapat menggunakan sudut kemiringan 60° (FK 1,13). Untuk tinggi 6 meter pada material limonit dapat menggunakan sudut kemiringan lereng 40° (FK 1,20), sedangkan untuk material saprolit dapat menggunakan sudut kemiringan 30° (FK 1,16) dan untuk rancangan geometri lereng dengan tinggi 7 meter dapat menggunakan sudut kemiringan lereng 30° (FK 1,15) untuk material limonit, sedangkan material saprolit dapat menggunakan 20° (FK 1,27) dan apabila rancangan geometri lereng menggunakan sudut kemiringan yang lebih dari 60°. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan menggunakan metode *Hoek and Bray* pada Blok Lily dapat menggunakan desain geometri lereng dengan sudut kemiringan lereng 50° dengan tinggi lereng 5 meter.

Kata kunci: Analisis, Faktor Keamanan, *Hoek And Bray*, Lelilef, Material

Abstract

Mining geotechnical is the technical processing of mining in activities that cover the investigation of stability on a slope, the Hoek and Bray method is a method that can be used to analyze four types of landslides on the slopes, for the design of the slope geometry on the Lily Block, you can use a slope angle of 20° (FK 1.26) for a height of 5 meters, limonite material for saprolite material at a height of 5 meters can use a slope angle of 60° (FK 1,13), for a height of 6 meters on limonite material can use a slope angle of 40° (FK 1.20), while for saprolite material can use a slope angle of 30° (FK 1.16) and for a slope geometry design with a height of 7 meters can use an angle of 30° slope (FK 1,15) for limonite material while saprolite material can use 20° (FK 1.27) and if the slope geometry design uses a slope angle of more than 60°. Based on the results of calculations and observations using the Hoek and Bray method on the Lily Block, it can use a slope geometry design with a slope angle of 50° with a slope height of 5 meters.

Keyword: Analysis, Safety Factor, *Hoek And Bray*, Lelilef, Materials

1. Pendahuluan

PT. Tekindo Energi merupakan Perusahaan swasta nasional yang bergerak di bidang pertambangan khususnya pertambangan bijih nikel. PT. Tekindo Energi memperoleh izin operasi produksi yang didasarkan atas surat keputusan nomor: 540/KEP/239/2012 Tanggal 30 Mei Tahun 2012, tentang persetujuan izin usaha pertambangan (IUP) operasi produksi logam nikel.

Untuk melakukan operasi penambangan, PT. Tekindo Energi memerlukan kajian geoteknik tambang yang merupakan pengolahan teknis pertambangan dalam kegiatan yang menyeliputi penyelidikan tentang kestabilan pada suatu lereng, geoteknik merupakan salah satu hal yang penting karena pada tambang terbuka sering adanya suatu masalah kestabilan lereng. Lereng dapat terbentuk secara alami maupun buatan manusia, lereng yang terbentuk secara alami misalnya lereng bukit dan tebing sungai, sedangkan lereng buatan manusia ialah galian dan timbunan. Lereng dapat dianalisis kestabilannya baik pada tahapan perancangan, penambangan, maupun tahap pasca tambang untuk mencegah bahaya

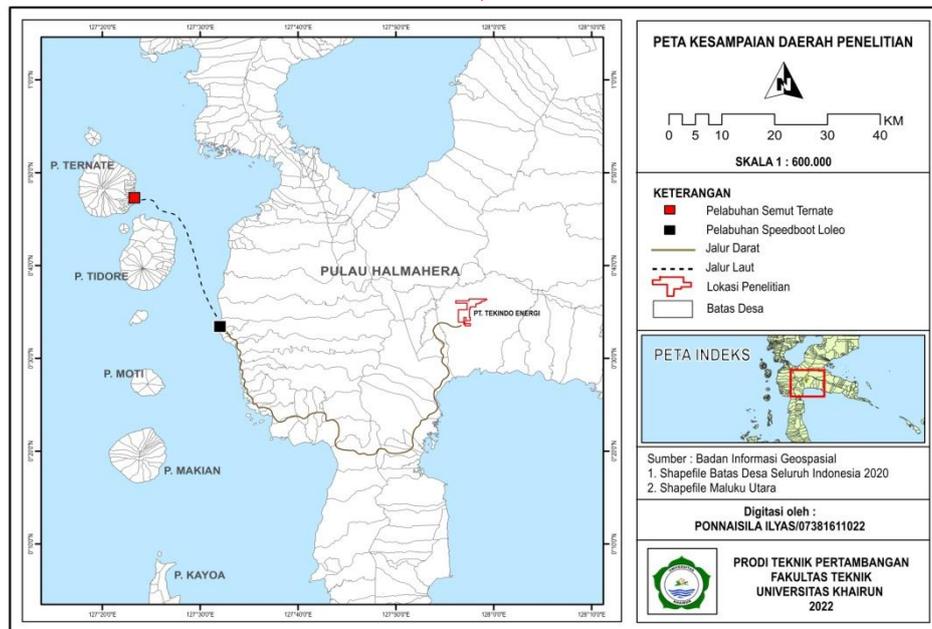
longsor pada waktu-waktu tertentu, sebab menyangkut masalah keselamatan kerja, dan keamanan peralatan lainnya [1].

Metode *Hoek and Bray*, merupakan metode yang dapat digunakan untuk menganalisis longsor pada lereng, pada metode ini menggunakan data sifat fisik dan sifat mekanik serta data parameter material propertial yaitu kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan bobot isi (γ_{nat}) sebagai data dalam analisa kestabilan pada lereng, kestabilan pada lereng dipengaruhi oleh geometri lereng, struktur batuan, sifat fisik dan mekanik batuan serta gaya-gaya luar yang bekerja pada lereng tersebut. Kestabilan dari suatu lereng merupakan masalah yang perlu perhatian khusus untuk kelangsungan proses penambangan agar tetap aman [2].

Dalam perancangan geometri lereng perlu untuk mengetahui sistem tegangan yang bekerja pada batuan atau tanah serta sifat fisik mekanika dari tanah dan batuan dengan mengambil beberapa sampel tanah dan batuan menggunakan alat *coring*, untuk dilakukan pengujian laboratorium dan data tersebut digunakan sebagai data parameter propertial dalam analisa kestabilan pada suatu lereng [3].

2. Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan april-juli 2022 di PT. Tekindo Energi Site Lelilef Kecamatan Weda Tengah, Kabupaten Halmahera Tengah (**Gambar 1**). Pengambilan sampel sebanyak tiga titik, dengan pengujian dilakukan di Laboraturium Mekanika Tanah Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun. Metode Analisa yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Hoek and Bray*.



Gambar 1. Lokasi dan Kesampaian Daerah

Parameter Pengamatan

Rancangan geometri lereng menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{c}{\gamma_{nat} H \tan \phi} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

- c = Kohesi
- ϕ = Sudut gesek dalam
- γ_{nat} = Bobot isi
- H = Tinggi Lereng

$$\frac{c}{\gamma_{nat} H.F} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

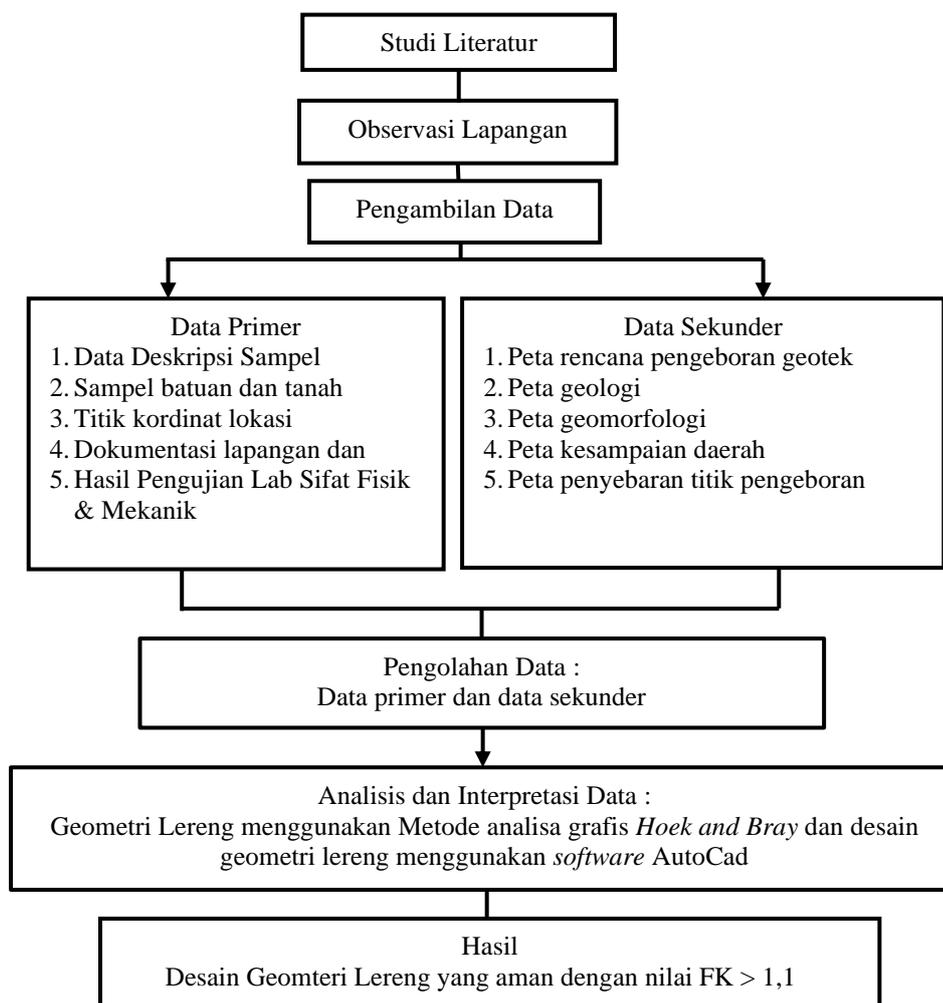
c = Kohesi

γ_{nat} = Bobot isi

H = Tinggi Lereng

F = Faktor Keamanan

Tahapan pekerjaan pada penelitian ini terdiri dari studi literatur, observasi lapangan, pengambilan data lapangan yang merupakan data primer, pengolahan data dengan bantuan perangkat komputer. Teknik pengolahan data dilakukan dengan beberapa pendekatan yang selanjutnya akan direalisasikan dalam bentuk perhitungan. Perhitungan dengan menggunakan metode grafis Hoek *and* Bray. Untuk analisa dalam rancangan geometri lereng diperlukan data – data mulai dari data pengeboran, data pengujian laboratorium dan data material parameter propertial seperti bobot isi (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) yang dihasilkan dari data sifat fisik dan mekanik, dalam rancangan geometri lereng untuk mendapatkan nilai FK yang aman yaitu $>1,1$, kemudian dalam desain geometri lereng menggunakan aplikasi AutoCAD 2018. Adapun bagan alir penelitian pada (**Gambar 2**)



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Hasil

Penelitian dilakukan pada PT. Tekindo Energi Site Lelifle Blok Lily Kecamatan Weda Tengah, Kabupaten Halmahera Tengah, Provinsi Maluku Utara, dengan waktu kurang lebih 3 bulan. Adapun kegiatan selama penelitian yaitu pengeboran geoteknik pada Blok Lily dengan titik perencanaan 3 titik pengeboran. Hasil kegiatan pengeboran pada GT-01, GT-02 dan GT-11 sebagaimana pada (**Tabel 1**) berikut, yang merupakan salah satu data hasil pengeboran pada GT 01.

Tabel 1. Data Hasil Pengeboran Lapangan GT-01

<i>Hole Id</i>	<i>Lenght (m)</i>	<i>Depth (m)</i>		<i>Description</i>
		<i>From</i>	<i>To</i>	
GT-01	1.0	0	1.0	OB
	1.0	1.0	2.0	OB, Limonit
	1.0	2.0	3.0	Limonit
	1.0	3.0	4.0	Limonit
	1.0	4.0	5.0	Limonit
	1.0	5.0	6.0	Limonit
	1.0	6.0	7.0	Limonit
	1.0	7.0	8.0	Saprolit
	1.0	8.0	9.0	Saprolit
	1.0	9.0	10.0	Rock
	1.0	10.0	11.0	Rock
	1.0	11.0	12.0	Rock,Saprolit
	1.0	12.0	13.0	Saprolit
	1.0	13.0	14.0	Saprolit
	1.0	14.0	15.0	Saprolit
	1.0	15.0	16.0	Rock
1.0	16.0	17.0	Rock	

Dari data kegiatan pengeboran di atas dapat digunakan sebagai data pembantu dalam pengujian sampel di laboratorium dengan menggunakan beberapa sampel tanah dan batuan untuk memperoleh data sifat fisik dan sifat mekanik, digunakan sebagai nilai parameter properti seperti bobot isi (γ), kohesi (c), dan sudut geser dalam (ϕ) dalam analisa perancangan geometri lereng. Berikut data pengujian laboratorium dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Sifat Fisik Dan Mekanik

<i>Hole id</i>	<i>Material</i>	<i>Hasil uji laboratorium</i>	<i>Nilai yang diperoleh</i>
GT-01	Limonit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 6,38°
		• Kohesi (c)	• 17,41 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 17,16 kN/m ³
	Saprolit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 7,37°
		• Kohesi (c)	• 18,46 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 18,05 kN/m ³
GT-02	Limonit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 6,10°
		• Kohesi (c)	• 16,88 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 18,63 kN/m ³
	Saprolit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 5,60°
		• Kohesi (c)	• 14,69 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 18,73 kN/m ³
GT-11	Limonit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 5,11°
		• Kohesi (c)	• 16,21 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 18,63 kN/m ³
	Saprolit	• Sudut geser dalam (ϕ)	• 9,99°
		• Kohesi (c)	• 16,20 kN/m ²
		• Berat Jenis (γ)	• 19,12 kN/m ³

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil perhitungan tiap parameter pada tiga titik, maka selanjutnya dapat dianalisa rancangan geometri lereng menggunakan persamaan (1) dan (2), menggunakan diagram 1 metode *Hoek and Bray*. Berikut ini ditampilkan beberapa hasil perhitungan pada GT-01, GT-02 dan GT-11 dengan ketinggian tertentu.

Tabel 3. Hasil Perhitungan GT-01 (H 5 m)

Hole id	H	Sudut Kemiringan	C		Tan ϕ		C		Ket
			$yH\tan\phi$	FS	FS	$yHFS$	FS		
GT-01 Limonit	5 m	60°	1,81	0,12	0,93	0,185	1,09	Tidak aman	
		50°		0,09	1,24	0,16	1,26	Aman	
		40°		0,08	1,39	0,141	1,43	Aman	
		30°		0,07	1,59	0,122	1,66	Aman	
		20°		0,05	2,23	0,102	1,98	Aman	
GT-01 Saprolit	5 m	60°	1,58	0,12	1,07	0,18	1,13	Aman	
		50°		0,11	1,17	0,156	1,31	Aman	
		40°		0,09	1,43	0,138	1,48	Aman	
		30°		0,08	1,61	0,128	1,59	Aman	
		20°		0,06	2,15	0,096	2,13	Aman	

Pada **Tabel 3** tersebut, dapat diketahui bahwa untuk mendapatkan FK yang aman dengan menggunakan metode *hoek and bray* dapat disimpulkan untuk kondisi *hole id* GT-01 (H 5 m) agar memiliki FK aman yang sesuai ketentuan Kepmen ESDM No1827 K 30 MEM Tahun 2018 [4]. Lereng tunggal perlu untuk rancangan geometri lereng menggunakan tinggi lereng 5 m dan kemiringan lereng 20°- 50° untuk material limonit dan material saprolit, jika lebih dari 60° sudut kemiringan lereng maka lebih kecil dari nilai FK (kondisi tidak aman).

Tabel 4. Hasil Perhitungan GT-01 (H 6 m)

Hole id	H	Sudut Kemiringan	C		Tan ϕ		C		Ket
			$yH\tan\phi$	FS	FS	$yHFS$	FS		
GT-01 Limonit	6 m	60°	1,51	0,13	0,86	0,182	0,92	Tidak aman	
		50°		0,12	0,93	0,16	1,04	Tidak aman	
		40°		0,09	1,24	0,14	1,20	Aman	
		30°		0,08	1,39	0,12	1,40	Aman	
		20°		0,07	1,59	0,10	1,69	Aman	
GT-01 Saprolit	6 m	60°	1,31	0,15	0,86	0,162	1,05	Tidak aman	
		50°		0,12	1,07	0,14	1,21	Aman	
		40°		0,11	1,17	0,13	1,31	Aman	
		30°		0,1	1,29	0,112	1,52	Aman	
		20°		0,09	1,43	0,091	1,83	Aman	

Pada **Tabel 4**, dapat diketahui untuk mendapatkan FK yang aman dengan menggunakan metode *hoek and bray* dapat disimpulkan untuk kondisi *hole id* GT-01 (H 6 m) agar memiliki FK yang aman yang sesuai ketentuan kepmen ESDM No1827 K 30 MEM tahun 2018 [4], lereng tunggal maka perlu untuk rancangan geometri lereng menggunakan tinggi lereng 6 m dan kemiringan lereng 20°- 50° untuk material limonit dan material saprolit, jika lebih dari 50° sudut kemiringan lereng maka lebih kecil nilai FK (tidak aman).

Tabel 5. Hasil Perhitungan GT-01 (H 7 m)

Hole id	H	Sudut Kemiringan	C		Tan ϕ		C		Ket
			$yH\tan\phi$	FS	FS	$yHFS$	FS		
GT-01 Limonit	7 m	60°	1,29	0,18	0,62	0,17	0,85	Tidak aman	
		50°		0,17	0,65	0,149	0,97	Tidak aman	
		40°		0,12	0,93	0,13	1,11	Aman	
		30°		0,1	1,11	0,101	1,43	Aman	
		20°		0,09	1,24	0,091	1,59	Aman	
GT-01 Saprolit	7 m	60°	1,29	0,5	0,25	0,172	0,84	Tidak aman	
		50°		0,4	0,32	0,15	0,97	Tidak aman	
		40°		0,2	0,64	0,132	1,10	Aman	
		30°		0,1	1,29	0,102	1,43	Aman	
		20°		0,09	1,43	0,092	1,58	Aman	

Sementara pada **Tabel 5**, mendapatkan FK yang aman dengan menggunakan metode *Hoek and Bray* dapat disimpulkan untuk kondisi *hole id* GT-01 (H 7 m) agar memiliki FK yang aman yang sesuai

ketentuan kepmen ESDM No1827 K 30 MEM tahun 2018 [4], lereng tunggal maka perlu untuk rancangan geometri lereng menggunakan tinggi lereng 7 m dan kemiringan lereng 20° - 40° untuk material limonit dan material saprolit, jika lebih dari 40° sudut kemiringan lereng maka lebih kecil dari nilai FK (kondisi tidak aman).

Tabel 6. Hasil Perhitungan GT-02 (H 5 m)

Hole id	H	Sudut Kemiringan	C	Tanφ		C		Ket
				yHtanφ	FS	FS	yHFS	
GT-02 Limonit	5 m	60°	1,69	0,12	0,89	0,185	0,97	Tidak aman
		50°		0,1	1,06	0,16	1,13	Aman
		40°		0,09	1,18	0,142	1,27	Aman
		30°		0,08	1,33	0,122	1,48	Aman
		20°		0,06	1,78	0,103	1,75	Aman
GT-02 Saprolit	5 m	60°	1,59	0,12	0,81	0,184	0,85	Tidak aman
		50°		0,1	0,98	0,16	0,98	Tidak aman
		40°		0,09	1,08	0,14	1,12	Aman
		30°		0,08	1,22	0,122	1,28	Aman
		20°		0,05	1,96	0,10	1,59	Aman

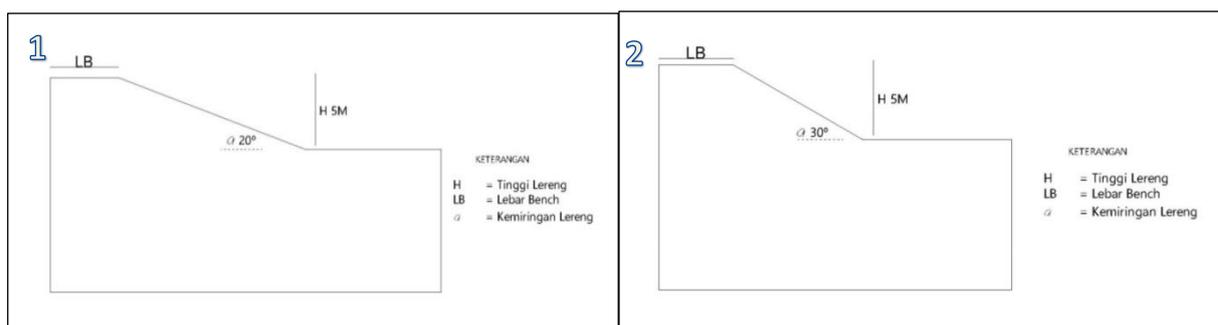
Hasil perhitungan pada **Tabel 6**, bahwa FK yang aman dengan menggunakan metode *Hoek and Bray* dapat disimpulkan untuk kondisi *hole id* GT-02 (H 5 m) agar memiliki FK yang aman yang sesuai ketentuan kepmen ESDM No1827 K 30 MEM tahun 2018 [4], lereng tunggal maka perlu untuk rancangan geometri lereng menggunakan tinggi lereng 5 m dan kemiringan lereng 20° - 50° untuk material limonit dan material saprolit, jika lebih dari 50° sudut kemiringan lereng maka lebih kecil nilai FK (kondisi tidak aman).

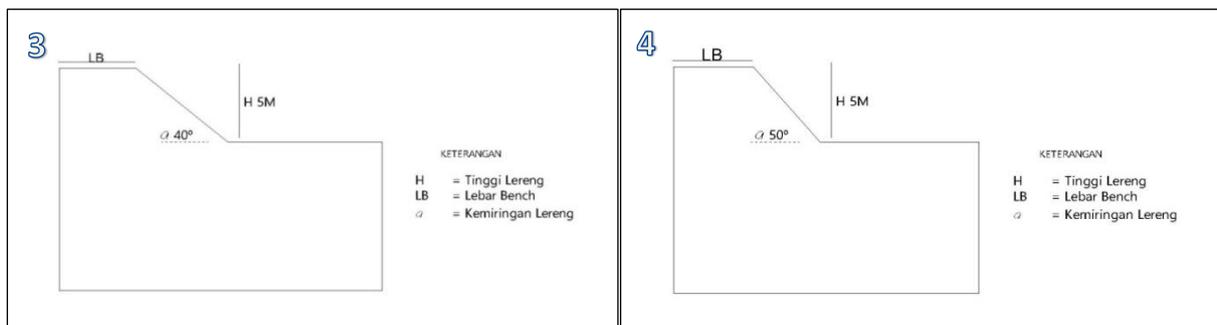
Tabel 7. Hasil Perhitungan GT-11 (H 5 m)

Hole id	H	Sudut Kemiringan	C	Tanφ		C		Ket
				yHtanφ	FS	FS	yHFS	
GT-11 Limonit	5 m	60°	1,94	0,16	0,55	0,165	1,05	Tidak aman
		50°		0,14	0,63	0,144	1,20	Aman
		40°		0,12	0,74	0,125	1,39	Aman
		30°		0,1	0,89	0,106	1,64	Aman
		20°		0,09	0,99	0,086	2,02	Aman
GT-11 Saprolit	5 m	60°	0,96	0,17	1,03	0,165	1,02	Tidak aman
		50°		0,15	1,17	0,142	1,19	Aman
		40°		0,13	1,35	0,122	1,38	Aman
		30°		0,11	1,59	0,106	1,59	Aman
		20°		0,09	1,95	0,085	1,99	Aman

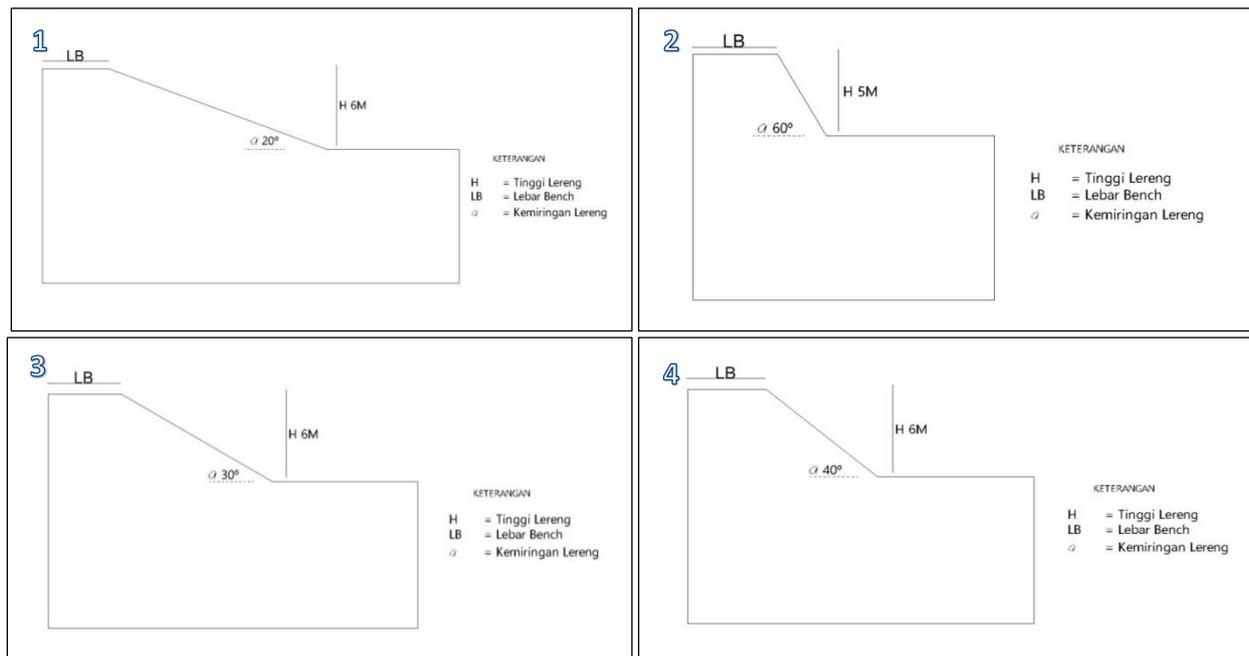
Hasil perhitungan pada **Tabel 7**, menunjukkan bahwa untuk mendapatkan FK yang aman dengan menggunakan metode *Hoek and Bray* dapat disimpulkan untuk kondisi *hole id* GT-11 (H 5 m) agar memiliki FK yang aman yang sesuai ketentuan kepmen ESDM No1827 K 30 MEM tahun 2018 [4], lereng tunggal maka perlu untuk rancangan geometri lereng menggunakan tinggi lereng 5 m dan kemiringan lereng 20° - 50° untuk material limonit dan material saprolit. jika lebih dari 50° sudut kemiringan lereng maka lebih kecil nilai FK (kondisi tidak aman).

Setelah mengetahui tinggi dan sudut kemiringan lereng maka dengan itu dibuat desain geometri lereng, desain geometri Lereng tunggal dapat dilihat pada gambar di bawah ini:





Gambar 3. 1). Desain Lereng Tunggol Kemiringan 20° Tinggi 5 Meter. 2). Desain Lereng Tunggol Kemiringan 30° Tinggi 5 Meter. 3). Desain Lereng Tunggol Kemiringan 40° Tinggi 5 Meter. 4). Desain Lereng Tunggol Kemiringan 50° Tinggi 5 Meter.



Gambar 4. 1). Desain Lereng Tunggol Sudut Kemiringan 20° Tinggi 6 Meter. 2). Lereng Tunggol Sudut Kemiringan 60° Tinggi 5 Meter. 3). Lereng Tunggol Sudut Kemiringan 30° Tinggi 6 Meter. 4). Lereng Tunggol Sudut Kemiringan 40° Tinggi 6 Meter.

3.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, kondisi modifikasi lereng kering dikondisikan dengan keadaan di lapangan dalam artian dari hasil pengujian *slug test* menggunakan alat *water level* pada Blok Lily terdapat kondisi air bawah permukaan, pola penggambaran *Hoek and Bray* dapat dikatakan dalam kondisi kering. Analisa untuk mengetahui kemantapan lereng pada Blok Lily menggunakan metode manual yaitu metode *Hoek and Bray*. Perhitungannya menggunakan parameter propertial yaitu berat jenis (γ), sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (C) untuk memperoleh faktor keamanan. faktor keamanan yang digunakan adalah 1,1 sesuai Kepmen ESDM No1827 K 30 MEM tahun 2018 [4], untuk lereng tunggal. Hasil rancangan geometri lereng dengan membuat percobaan dengan menghitung tinggi lereng dari tinggi lereng 5, 6 dan 7 meter menggunakan grafik *Hoek and Bray*.

Desain geometri lereng merupakan perencanaan pembuatan lereng yang aman yang sesuai dengan kriteria Kepmen ESDM No 1287 tahun 2018 [4], Untuk desain geometri lereng menggunakan Autocad 2018, desain lereng dapat dibuat terlebih dahulu kita sudah mengetahui tinggi dan kemiringan lereng sehingga lebih memudahkan dalam pembuatan desain tersebut. Pada penelitian ini menggunakan desain geometri lereng dengan rancangan lereng tunggal (*single slope*) lereng tunggal merupakan suatu lereng yang dibentuk hanya satu jenjang saja, untuk rancangan geometri lereng menggunakan lereng

tunggal (*single slope*) dikondisikan dengan ketebalan perlapisan material yang berada pada lokasi penelitian.

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan dari beberapa percobaan penulis dapat merekomendasikan untuk rancangan geometri lereng di PT. Tekindo Energi *Site* Lelilef Kecamatan Weda Tengah Kabupaten Halmahera Tengah pada Blok Lily dapat merancang geometri lereng menggunakan sudut kemiringan lereng 50° dan ketinggian lereng 5 meter, lereng tunggal. Disesuaikan berdasarkan daya dukung material dan ketebalan setiap litologi material limonit dan saprolit pada Blok Lily.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengolahan data dengan menggunakan metode Hoek and Bray pada rancangan geometri lereng di PT. Tekindo Energi *Site* Lelilef Kecamatan Weda Tengah Kabupaten Halmahera Tengah, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Untuk rancangan geometri lereng pada Blok Lily dapat menggunakan sudut kemiringan lereng pada kemiringan 20° (FK 1,26) untuk tinggi 5 meter material limonit, untuk material saprolit pada ketinggian 5 meter dapat menggunakan sudut kemiringan 60° (FK 1,13), untuk tinggi 6 meter pada material limonit dapat menggunakan sudut kemiringan lereng 40° (FK 1,20), sedangkan untuk material saprolit dapat menggunakan sudut kemiringan 30° (FK 1,16) dan untuk rancangan geometri lereng dengan tinggi 7 meter dapat menggunakan sudut kemiringan lereng 30° (FK 1,15) untuk material limonit sedangkan material saprolit dapat menggunakan 20° (FK 1,27) dan apabila rancangan geometri lereng menggunakan sudut kemiringan yang lebih dari 60°.
- b. Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan menggunakan metode *Hoek and Bray* pada Blok Lily dapat menggunakan desain geometri lereng dengan sudut kemiringan lereng 50° dengan tinggi lereng 5 meter.

5. Referensi

- [1] Aprilia, J. (2019). Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang Batubara Pit 'Xy' menggunakan Metode Kesetimbangan Batas Pt. Bukit Asam Tbk. *Geoscience Journal*, 3(3), 175-181. Kementerian ESDM. 2017b. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Hal 634-639
- [2] Hoek, E And Bray, J. (1981). *Rock Slope Engineering Civil And Mining*, (182-212), Institution Of Mining And Metalurgy, London. Sitanggang, G. 2010. Kajian Pemanfaatan Satelit Masa Depan: Sistem Penginderaan Jauh Satelit LDCM (Landsat-8). *Berita Dirgantara*. 11. 47 – 58.
- [3] Ikhwan, M. (2018). Analisis Kestabilan Lereng Berdasarkan Kualitas Massa Batuan Rock Mass Rating (Rmr) Di Sekitar Lubang Bukaan Bmk 17 Tambang Batubara Cv. Bara Mitra Kencana Kota Sawahlunto, Provinsi Sumatera Barat, Skripsi. Sekolah Tinggi Teknologi Industri, Padang
- [4] Kepmen No 1827 K 30 MEM. (2018). Tentang Pedoman pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik