

PERBANDINGAN METODE *BISHOP SIMPLIFIED* DAN *MORGENSTREN PRICE* DALAM ANALISIS PROBABILITAS KELONGSORAN DESAIN LERENG STABIL *MUDCELL* PROYEK *IN PIT DUMP* (IPD) PT. BERAU COAL

Martinus Gerald Florenta^{1*}, Zufaldi Zakaria¹, Cipta Endyana¹, Dhehave Riaviandhi¹

¹Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Bandung

*Email Korespondensi: martinus18001@mail.unpad.ac.id

ABSTRAK

PT. Berau Coal merupakan salah satu perusahaan tambang batubara terbuka yang memiliki beberapa site diantaranya adalah BMO-1, BMO-2, LMO, SMO, PMO, dan GMO. Lokasi penelitian dilakukan pada Site BMO 1 Pit_XY dengan jumlah *fleet* yang beroperasi adalah 2 buah. Hal ini menandakan bahwa keberlangsungan produksi pada Pit tersebut memiliki beberapa kendala operasional seperti tingginya curah hujan yang menyebabkan banjir atau rembesan lereng dan jarak hauling yang cukup jauh. Secara LOM (*life of mine*), *Out Pit Dump* (OPD) XY memiliki kapasitas disposasi 418.788 BCM pada jarak 3.12 Km dari *front loading*, namun saat ini masih tersisa 1.3 juta BCM dengan jarak actual OPD_XY 3.12 Km. Oleh karena itu dilakukan rekomendasi *in pit dump* sebagai *opportunity* untuk mengurangi *hauling distance*. Lereng Stabil *reduce distance* dapat meningkatkan angka produktivitas bagi perusahaan karena mempercepat *cycletime* unit maupun system, namun dalam membuat perencanaannya, peneliti perlu menganalisis kestabilan lereng daerah penelitian, sehingga selain aspek produktivitas, aspek keselamatan juga dipertimbangkan. Untuk merealisasikan rencana *reduce distance*, maka direncanakan pembentukan *mudcell* IPD_XY sebagai area *dumping overburden* yang baru dengan kapasitas 678,736 BCM, untuk itu perlu dilakukan pembuatan desain *staging mudcell* dan juga kajian geoteknik pada perencanaan *staging* geometri lereng disposasi / dinding penahan air yang aman ($FK \geq 1,5$) pada area tersebut. Dalam perhitungan analisis, metode yang digunakan untuk mencari nilai angka Faktor Keamanan (FK) dan Probabilitas Kelongsoran (PK) lereng timbunan *mudcell* yaitu metode Bishop Simplified dan Morgenstren-Price. Dari hasil perhitungan simulasi yang ada, nilai angka FK dan PK yang dihasilkan dalam perhitungan Bishop cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan perhitungan Morgenstren-Price pada semua simulasi yang dilakukan, sehingga perhitungan Bishop dapat digunakan sebagai acuan pesimistik pada penelitian ini.

Kata kunci: Probabilitas Kelongsoran, Faktor Keamanan, Lereng Timbunan, Bishop Simplified, Morgenstren-Price

ABSTRACT

PT. Berau Coal is an open-pit coal mining company with several sites including BMO-1, BMO-2, LMO, SMO, PMO, and GMO. The research location was conducted at Site BMO 1 Pit_XY with 2 operating fleets. This indicates that the continuity of production in the Pit has several operational constraints such as high rainfall which causes flooding or seepage of the slopes and the hauling distance is quite far. In terms of LOM (*life of mine*), *Out Pit Dump* (OPD) XY has a disposal capacity of 418,788 BCM at a distance of 3.12 Km from the front loading, but currently there are still 1.3 million BCM with an actual OPD_XY distance of 3.12 Km. Therefore, an *in-pit dump* recommendation was made as an *opportunity* to reduce the hauling distance. Recommendations *reduce distance* can increase productivity for the company because it accelerates the *cycletime* of units and systems, but in making the plan, researchers need to analyze the stability of the slopes of the research area, so that apart from productivity aspects, safety aspects are also considered. To realize the *reduce distance* plan, it is planned to form an IPD_XY *mudcell* as a new *dumping overburden* area with a capacity of 678,736 BCM, for that it is necessary to make a *staging mudcell* design and also a geotechnical study on the *staging* planning of the geometry disposal slope as well as a safe water retaining wall ($FK 1.5$) in the area. In the calculation of the analysis, the method used to find the value of the factor of safety (FK) and the probability of landslides (PK) on the slopes of the *mudcell* embankment are the Bishop Simplified and Morgenstren-Price methods. From the results of the existing simulation calculations, the FK and PK values generated in Bishop's calculations tend to be lower than the Morgenstren-Price calculations in all simulations carried out, so Bishop's calculations can be used as a pessimistic reference in this research.

Keywords: Probability of Failure, Safety Factor, Backfill Slope, Bishop Simplified, Morgenstren-Price

PENDAHULUAN

Dalam perencanaan tambang Pit_XY yang saat ini dikerjakan oleh mitra kerja PT Pamapersada Nusantara, diperlukan adanya perencanaan untuk mengurangi jarak *hauling overburden*. Dalam merealisasikan perencanaan tersebut dilakukan pembentukan lereng timbunan mudcell dari material *freshblast overburden*. Dalam mempersiapkan mudcell IPD_XY dengan kapasitas 678,736 BCM maka perlu dilakukan pembuatan desain mudcell dan juga kajian geoteknik pada perencanaan staging geometri lereng disposal sekaligus dinding penahan air yang aman (Faktor Keamanan, $FK \geq 1,5$) pada area tersebut. Secara umum, terdapat 2 jenis faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng, 2 faktor tersebut adalah faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal merupakan faktor yang berasal dari tubuh lereng itu sendiri, baik itu jenis material penyusun lereng maupun geometri lerengnya. Sedangkan faktor eksternal merupakan faktor yang mempengaruhi lereng namun berasal dari luar lereng tersebut, seperti naiknya muka air tanah, keberadaan vegetasi yang kurang sesuai, beban tambahan pada puncak dan kaki lereng, curah hujan/ cuaca/ iklim, dan gempa bumi atau getaran (Zakaria, 2011). Dari kelima faktor eksternal tersebut, gempa bumi dan hujan merupakan faktor yang sulit dikendalikan karena bersifat quasi-random. Namun pada area penelitian, *blasting* atau kegiatan peledakan kerap kali dilaksanakan untuk mempercepat produktivitas dibandingkan memanfaatkan kegiatan ripping dalam menggemburkan material OB. Sama halnya dengan gempa bumi, kegiatan peledakan dapat menimbulkan getaran pada lereng disekitarnya dan beresiko menurunkan nilai FK. Untuk itu diperlukan kajian dengan nilai FK yang pesimis sebagai acuan nilai keamanan suatu lereng. PT. Berau Coal sudah menetapkan nilai faktor keamanan lereng yaitu $\geq 1,5$. Selain itu, pembentukan lereng timbunan *mudcell* memiliki fungsi sebagai pemisah atau sekatan antara *sump* utara dan *sump* selatan, oleh karena itu hal ini dapat

berpotensi menimbulkan rembesan yang mengalir melalui tubuh lereng mudcell, sehingga diperlukan adanya kajian geoteknik mengenai hal tersebut sebagai penentuan tindakan antisipasi yang perlu dilakukan pada Pit_XY. Dalam melakukan perhitungan analisis kestabilan lereng, digunakan 2 metode perhitungan berdasarkan kondisi kesetimbangan gaya yang dapat dipenuhi, yaitu metode *Bishop Simplified* (metode yang tidak memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen) dan metode *Morgenstren-Price* (metode yang memenuhi semua kondisi kesetimbangan gaya dan momen). Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara kedua metode tersebut guna mengetahui hasil nilai FK dan Probabilitas Kelongsoran (PK) yang terendah sehingga dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian atau kajian yang serupa.

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kualitatif dan kuantitatif. Hal ini dibutuhkan untuk mengetahui nilai FK (Faktor Keamanan) dan PK (Probabilitas Kelongsoran) setelah dipengaruhi beberapa variabel pada daerah penelitian. Data penelitian yang merupakan pengukuran terkontrol adalah data Geotek hasil pengujian laboratorium. Data hasil uji laboratorium kemudian dianalisis menggunakan *software* pengolahan data seperti *Arcgis*, *Adobe Illustrator*, *Microsoft Word*, *Microsoft Excel*.

Data yang digunakan dalam penelitian ini dikumpulkan secara primer maupun sekunder. Data primer diambil secara langsung pada kegiatan staging monitoring pembentukan lereng disposal dan pemeriksaan langsung kondisi lapangan di PT. Berau Coal Pit_XY. Kemudian data sekunder diperoleh dari departemen Geotechnical & Hidrology (G&H), sehingga seluruh data parameter geoteknik telah disediakan dan penulis tidak melakukan pengolahan sampel geoteknik secara langsung di lapangan.

Pada tahap analisis data, seluruh data yang telah diperoleh dari Dept. G&H BMO – 1 dianalisis dan diolah menggunakan software yang sesuai. Data kohesi dan sudut geser dalam atau *internal friction* diinput ke dalam Excel untuk dicari nilai standar deviasi, mean, min dan max. Data ini digunakan untuk keperluan analisis Probabilistik Kelongsoran dengan metode statistik Monte Carlo. Data section .dxf yang didapat dari export software Minescape 5.7 kemudian dimasukkan kedalam Autocad untuk diolah sehingga dapat digunakan sebagai boundaries section pada software Rocscience Slide v6.0. Analisis kestabilan lereng yang dilakukan untuk mendapatkan nilai Faktor Keamanan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb untuk material *New Fill* dan *Bed Rock* serta *Undrained* untuk material *sludge*. Data yang digunakan pada setiap material properties yang ada adalah data berat isi, kohesi, sudut geser dalam kemudian menggunakan variabel lain yang mempengaruhi kestabilan lereng mudcell sebagai sekatan lumpur seperti tinggi muka air tanah, dan asumsi nilai *seismic load coefficient* dari beban getaran peledakan yaitu 0.03g. Dari data-data tersebut, nilai Faktor Keamanan dan Probabilistik Kelongsoran dapat diperoleh untuk mengetahui bagaimana kondisi lereng (kritis/tidak stabil/relatif stabil) berdasarkan desain lereng dari Departemen Mine Plan dan Desain stabil geometri lereng dapat diberikan sesuai kebutuhan. Setelah seluruh data dikumpulkan, data diolah menggunakan software Rocscience Slide v6.0 guna memperoleh nilai FK dan PK atau kestabilan lereng disposal IPD_XY dengan metode *Bishop Simplified* dan *Morgenstren-Price* sesuai geometri desain lereng yang direkomendasikan serta dengan pengaruh variabel yang dipakai dalam penelitian. Hasil simulasi probabilitas kelongsoran direkap untuk mengetahui perbedaan antara perhitungan metode Bishop dan Morgenstren-Price. Setelah menyelesaikan pengolahan data melalui software, dilakukan analisis hasil

olahan data dan menyajikan rekomendasi yang diberikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, digunakan penampang melintang yang diambil dari desain final pit LOM (*life of mine*), desain mineplan dan topografi aktual minggu pertama pada lokasi mudcell Pit XY yang diolah menggunakan software minescape 5.7. Penampang yang digunakan adalah penampang A-B yang mengarah dari utara ke selatan. Data topografi aktual dan desain akhir *mudcell* didapatkan dari Dept. Survey and Geospatial Information dan Dept. Mineplan, berikut dibawah ini merupakan table raw data topografi yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 1. List Raw Data Minescape 5.7

No.	Raw Data	Keterangan
1	Mudcell_PITXY	Desain Finish Mudcell (Mineplan)
2	XY_W0422_FNS_CNT	Topografi LOM (Life Of Mine)
3	XY_W0422_ALL_CNT	Topografi Aktual
4	XY_W2322_ALL_CNT	

Garis penampang yang dibentuk kemudian diplot kedalam software minescape 5.7 sehingga didapatkan boundaries serta polyline yang diimport kedalam software Rocscience Slide v.6. Dengan metode triangulasi, data topografi W0422, desain mineplan, dan desain final pit LOM dibentuk kedalam model 3 dimensi sehingga dapat dibentuk section surface-nya.

Pada penelitian ini digunakan data uji sifat fisik dan mekanik material penyusun lereng yang didapat dari 6 buah lubang bor SPT untuk material properties timbunan atau *new fill* (kode SDGT) dan 1 lubang bor *full coring* (kode DDGT) untuk material properties *bedrock*. Hasil data lapangan kemudian diolah di laboratorium mekanika batuan milik PT. Berau Coal sehingga didapatkan hasil akhir berupa nilai kohesi, sudut geser dalam, kedalaman, litologi, dan densitas batuan. Berikut di bawah ini merupakan data bor geoteknik yang digunakan yaitu DDGT-PITXY-19-01 (litologi *sandstone*) dan SDGT-PITXY-19 (01-06) yang dikelompokkan

menjadi 3 litologi yaitu *sandstone*, *mudstone* dan *Sandymudstone*:

Tabel 2. Hasil Rekap Data Bor SPT SDGT I-6 Lereng Timbunan Mudcell (New Fill)

No	Sample Code	Lithology	Depth (M)		Density (kN/m ³)		Cohesi (kN/m ²)		Internal Friction Angle (°)	
			From	To	Natural	Saturated	Peak	Residu	Peak	Residu
1	SDGT-PITXY-19-01	Sandstone	42.8	43.25	22.9	23.8	60	50	30.21	24.9
2	SDGT-PITXY-19-01	Sandstone	48.42	48.87	23	24.1	83	74	30.6	24.58
3	SDGT-PITXY-19-01	Sandstone	34.72	35.17	22.8	23.8	96	84	31.18	25.25
4	SDGT-PITXY-19-02	Sandstone	21.78	22.23	23.3	24.6	69	59	29.03	21.92
5	SDGT-PITXY-19-02	Sandstone	22.07	22.52	23.4	24	69	59	29.03	21.92
6	SDGT-PITXY-19-02	Sandstone	47.17	47.62	23.8	24.5	80	69	30.43	17.07
7	SDGT-PITXY-19-02	Sandstone	8.65	9.1	23.2	24	72	59	27.80	13.92
8	SDGT-PITXY-19-03	Sandstone	37.81	38.26	23.5	24.1	91	68	30.34	21.18
9	SDGT-PITXY-19-03	Sandstone	43.65	44.1	23.7	24.8	77	65	30.54	23.73
10	SDGT-PITXY-19-03	Sandstone	34.8	35.05	23.9	24.8	88	70	31.57	24.55
11	SDGT-PITXY-19-03	Sandstone	18.8	19.05						
12	SDGT-PITXY-19-03	Sandstone	32	32.45	23	23.5	79	54	18.62	11.77
13	SDGT-PITXY-19-05	Sandstone	21.61	22.06	23	23.8	84	56	19.43	12.24
14	SDGT-PITXY-19-05	Sandstone	42.25	42.7						
15	SDGT-PITXY-19-05	Sandstone	28	28.45						
16	SDGT-PITXY-19-05	Sandstone	44.3	44.75	23.4	24.5	78	68	30.69	24
17	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	37.59	38.04	23.3	23.9	87	62	18.09	13.73
18	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	58	59.15	23.5	24	63	41	29.16	17.73
19	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	8.4	8.85	23.3	24.4	66	52	28.31	23.11
20	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	43.96	44.41	23.7	24.8	81	67	29.54	23.74
21	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	13.32	13.77						
22	SDGT-PITXY-19-04	Sandstone	59.31	60.76	23.5	23.9	63	54	29.85	18.94
23	SDGT-PITXY-19-06	Sandstone	15.5	15.95	23.7	24.6	64	57	30.16	19.43
24	SDGT-PITXY-19-06	Sandstone	32.63	33.08	23.8	25.1	67	61	30.47	19.78
25	SDGT-PITXY-19-01	Sandy Mudstone	32.3	32.75	23.7	24.6	72	51	16.77	14.15
26	SDGT-PITXY-19-01	Sandy Mudstone	44.85	45.3	23.6	24.6	72	51	16.77	14.15
27	SDGT-PITXY-19-03	Sandy Mudstone	25.63	26.08	21.7	22.1	87	62	18.09	13.73
28	SDGT-PITXY-19-03	Sandy Mudstone	56.63	57.08	23.9	24.1	59	48	15.15	11.19
29	SDGT-PITXY-19-03	Sandy Mudstone	59.45	59.9	23.7	24.1	63	48	15.65	11.53
30	SDGT-PITXY-19-06	Sandy Mudstone	29.95	30.4	23.8	25.1	69	52	16.46	12.19
31	SDGT-PITXY-19-01	Mudstone	18.88	19.33	20.6	20.9	63	44	13.46	10.72
32	SDGT-PITXY-19-02	Mudstone	16.22	16.67	20.4	21	69	58	14.12	11.42
33	SDGT-PITXY-19-02	Mudstone	41.8	42.25	20.7	21.5	78	61	15.64	12.87
34	SDGT-PITXY-19-02	Mudstone	48.47	48.92	21.2	21.8	74	57	13.84	11.3
35	SDGT-PITXY-19-03	Mudstone	34.64	35.09	21.8	22.2	68	58	14.88	12.53
36	SDGT-PITXY-19-03	Mudstone	10.1	10.55	20.2	20.7	82	58	17.88	14.69
37	SDGT-PITXY-19-03	Mudstone	29.68	30.1						
38	SDGT-PITXY-19-03	Mudstone	46.9	47.35						
39	SDGT-PITXY-19-04	Mudstone	31.52	31.97	20.2	20.7	78	65	15.29	11.2
40	SDGT-PITXY-19-04	Mudstone	29.08	29.53	21.1	21.5	75	63	14.27	11.48
41	SDGT-PITXY-19-04	Mudstone	20.75	21.2	20.2	20.4	75	53	17.25	13.68
42	SDGT-PITXY-19-05	Mudstone	24.25	24.7						
43	SDGT-PITXY-19-05	Mudstone	48.18	48.63						
44	SDGT-PITXY-19-06	Mudstone	32.31	32.76	21.3	21.8	66	55	15.34	11.95
45	SDGT-PITXY-19-06	Mudstone	48.3	48.75						
46	SDGT-PITXY-19-06	Mudstone	26.63	27.08	20.9	21.1	63	40	15.3	11.27

Tabel 3. Hasil Bor Full Coring DDGT-Sandstone (Bedrock)

No	Sample Code	Lithology	Depth (M)		Density (kN/m ³)		Cohesi (kN/m ²)		Internal Friction	
			From	To	Natural	Saturated	Peak	Residu	Peak	Residu
1	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	40.1	40.4						
2	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	68.2	68.6						
3	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	32	32.3	24.200	26.600	114.000	81.000	30.49	21.22
4	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	45.73	46.07	20.600	22.700	157.000	123.000	33.21	26.99
5	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	40.66	41	21.300	22.700	146.000	119.000	34.8	24.88
6	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	40.1	40.42						
7	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	68.2	68.56						
8	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	32	32.3	23.500	24.100	115.000	81.000	30.49	21.22
9	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	47.6	47.87						
10	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	52.7	53.05	21.200	21.800	157.000	153.000	32.3	26.99
11	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	20.9	21.35	22.500	23.600	140.000	117.000	32.2	24.8
12	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	30	30.5						
13	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	41.5	42						
14	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	36.5	36.95						
15	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	47.25	47.75						
16	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	60.9	61.15	23.000	23.600	120.000	97.000	33	25.6
17	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	81.65	81.05	23.200	23.600	143.000	120.000	31.8	24.4
18	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	82.25	82.6	22.900	23.600	153.000	130.000	29.7	22.3
19	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	100.2	100.65	22.600	23.600	167.000	144.000	28.8	21.4
20	DDGT-PITXY-19-01	Sandstone	117	117.3	22.300	23.600	174.000	151.000	32.1	24.7

Data sifat fisik dan mekanik batuan yang di dapat dari hasil pengujian laboratorium dilakukan pengolahan secara statistika guna memodelkan simulasi Monte Carlo yang diinput kedalam *software* Rocscience Slide v6.0. Kumpulan data SPT dinamai sebagai material *new fill* dan *sandstone* diasumsikan sebagai material *bedrock*. Data *outlier* atau pencilan dalam hasil laboratorium dihindari untuk statistik sampel sehingga nilai standard deviasi diusahakan mendekati 1(satu). Pengolahan data statistik yang dilakukan bertujuan untuk mengeluarkan parameter statistika deskriptif untuk pemodelan probabilitas kelongsoran lereng dengan menggunakan *tools data analyze* yang terdapat pada piranti lunak Microsoft Excel. Berikut ini

ditampilkan hasil pengolahan data statistika deskriptif yang mencakup jumlah data, nilai rerata, nilai minimum, nilai maksimum, median, dan standar deviasi dari kumpulan data yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo pada *software* Rocscience Slide v6.0.

Tabel 3. Statistik Sampel Timbunan Baru (New Fill)

Deskripsi	n	Density (kN/m ³)	Cohesi (kN/m ²)	Internal Friction
		Saturated	Residu	Peak
New Fill	37			
	Min	20.40	40.00	10.72
	Max	28.00	84.00	25.25
	Median	24.00	58.00	14.15
	Average	23.49	58.27	16.76
	St. Deviasi	1.67	9.05	5.34

Tabel 4. Statistik Sampel Bedrock

Deskripsi	n	Density (kN/m ³)	Cohesi (kN/m ²)	Internal Friction
		Natural	Peak	Peak
Bedrock	11			
	Min	20.60	114.00	28.80
	Max	24.20	174.00	34.80
	Median	22.60	146.00	32.10
	Average	22.48	144.18	31.72
	St. Deviasi	1.08	20.46	1.72

Dikarenakan material yang ditimbun merupakan material campuran antara basah dan kering, dan fungsi dari *mudcell* sendiri sebagai sekatan air serta lumpur, maka diberikan *adjustment* geotek berupa keterdapatannya material *sludge* sebagai endapan material timbunan paling bawah dan merupakan bidang lemah dari timbunan *mudcell* itu sendiri. Nilai dari *material properties* *sludge* didapatkan secara langsung dari departemen *Geotech & Hydrology* PT. Berau Coal. Berikut dibawah ini merupakan rekapan *statistic variable* yang digunakan pada penelitian ini:

Tabel 5. Statistic Variable Monte Carlo Simulation

No.	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Min	Max
1	Bedrock	Cohesion	Normal	144.18	20.46	114.00	174.00
2	Bedrock	Phi	Normal	31.72	1.72	28.80	34.80
3	Bedrock	Unit Weight	Normal	22.48	1.08	20.60	24.20
4	Fill New	Cohesion	Normal	58.22	9.05	40	84
5	Fill New	Phi	Normal	16.76	5.34	10.72	25.25
6	Fill New	Unit Weight	Normal	23.49	1.67	20.4	28
7	Sludge	Cohesion	Normal	45	11.25	33.75	33.75
8	Sludge	Unit Weight	Normal	17	4.25	12.75	12.75

Parameter masukan lain yang digunakan dalam analisis kestabilan lereng *mudcell* berupa ketinggian muka air tanah yang diasumsikan memiliki rembesan pada W2322, sehingga digunakan metode *ground water steadystate* untuk mengetahui potensi titik elevasi rembesan air sump selatan. Besar *total head* disesuaikan dengan ketinggian atau elevasi *freeboard* 2 - 3 meter yang sudah ditentukan berdasarkan prosedur PT. Berau Coal (S-GNH-02.02) sebagai area limpasan air

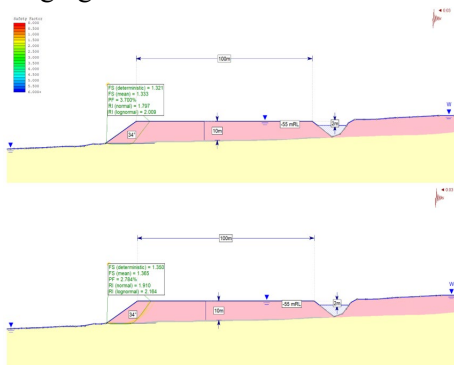
atau paritan sehingga elevasi permukaan air tetap terjaga. Nilai permeabilitas yang digunakan dalam *hydraulic properties* merupakan data sekunder yang diperoleh dari dept. Geotech and hydrology dengan rincian pada tabel dibawah ini:

Tabel 6. *Hydraulic Properties Mudcell Pit_XY*

Material Name	Color	Model	KS (m/s)	K2/K1	K1 Angle	Soil Type
Bedrock	Yellow	Simple	1e-011	1	0	General
Fill_New	Pink	Simple	1e-008	1	0	General
Sludge	Grey	Simple	1e-006	1	0	General

Mengacu pada Standar Pembentukan *Filled Embankment* di Area *Sump* (S-GNH-02.02) maka dibentuk desain lereng stabil *mudcell* berdasarkan desain perencanaan sebelumnya. Desain lereng stabil dibentuk dalam 5 tahap atau *staging* sesuai dengan ajuan dari dept. *mine operation* sehingga dari total waktu *plan commitment* pembentukan yang ada dari kontraktor (123 hari) pembentukan *mudcell* lebih efektif untuk dieksekusi. Berikut merupakan hasil analisis kestabilan lereng desain staging 1-5:

1. Staging 1

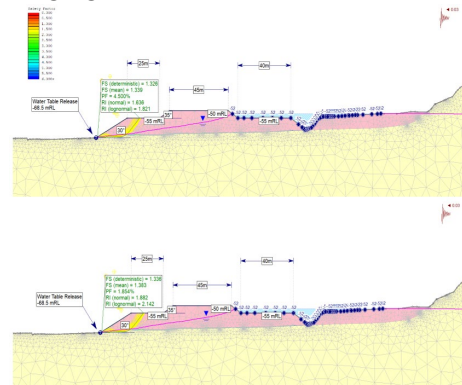


Gambar 1. Hasil Simulasi FK dan PK desain lereng stabil staging 1 A-B Bishop (atas) dan Morgenstren-Price (bawah)

Hasil simulasi menunjukkan nilai FK adalah 1.321 ($FK < 1.5$), dan PK 3.7 % ($PK < 5\%$) pada Bishop sedangkan pada Morgenstren-Price, nilai FK adalah 1.350 ($FK < 1.5$), dan PK 2.7% ($PK < 5\%$) sehingga lereng dinyatakan relatif stabil, diberikan penyesuaian

nilai FK dengan pertimbangan ketersediaan OB dan elevasi airnya.

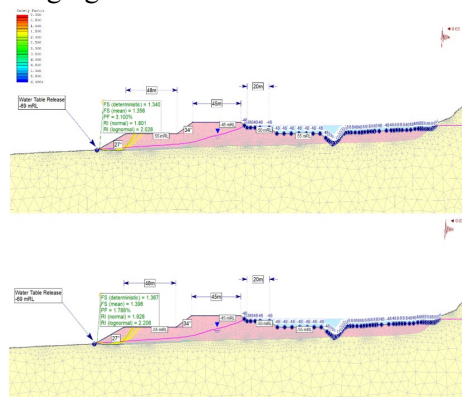
2. Staging 2



Gambar 2. Hasil Simulasi FK dan PK desain staging 2 A-B Bishop (atas) dan Morgenstren-Price (bawah)

Hasil simulasi *steady state* menunjukkan estimasi titik rembesan air pada elevasi -68.5 mrl dengan nilai FK adalah 1.326 ($FK < 1.5$), dan PK 4.5% ($PK < 5\%$) pada Bishop sedangkan pada Morgenstren-Price, nilai FK adalah 1.336 ($FK < 1.5$), dan PK 1.854% ($PK < 5\%$) sehingga lereng dinyatakan relatif stabil, diberikan penyesuaian nilai FK dengan pertimbangan ketersediaan OB.

3. Staging 3



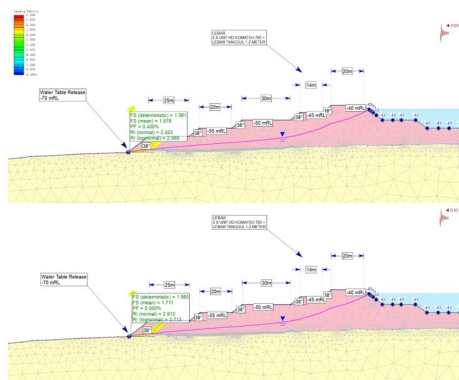
Gambar 3. Hasil Simulasi FK dan PK desain lereng stabili staging 3 A-B Bishop (atas) dan Morgenstren-Price (bawah)

Hasil simulasi *steady state* menunjukkan estimasi titik rembesan air pada elevasi -69 mrl dengan nilai FK adalah 1.340 ($FK < 1.5$), dan PK 3.1% ($PK < 5\%$) pada Bishop

sedangkan pada Morgenstren-Price, nilai FK adalah 1.367 ($FK < 1.5$), dan PK 1.786% ($PK < 5\%$) sehingga lereng dinyatakan aman atau stabil.

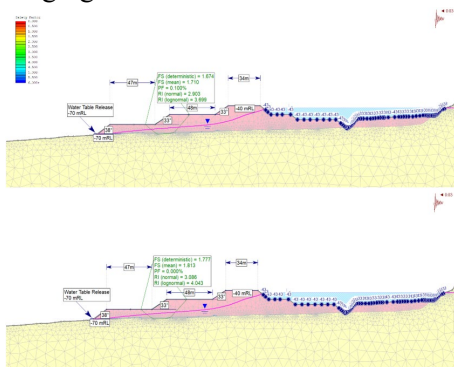
4. Staging 4

Hasil simulasi *steady state* menunjukkan estimasi titik rembesan air pada elevasi -70 mrl dengan nilai FK adalah 1.561 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.4% ($PK < 5\%$) pada Bishop sedangkan pada Morgenstren-Price, nilai FK adalah 1.565 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.0% ($PK < 5\%$) sehingga lereng dinyatakan aman atau stabil.



Gambar 4. Hasil Simulasi FK dan PK desain staging 4 A-B Bishop (atas) dan Morgenstren-Price (bawah)

5. Staging 5

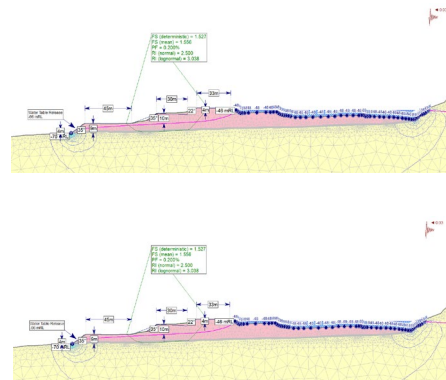


Gambar 5. Hasil Simulasi FK dan PK desain lereng stabil staging 5 A-B Bishop (atas) dan Morgenstren-Price (bawah)

Hasil simulasi *steady state* menunjukkan estimasi titik rembesan air pada elevasi -70 mrl dengan nilai FK adalah 1.674 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.1% ($PK < 5\%$) pada Bishop sedangkan pada Morgenstren-Price,

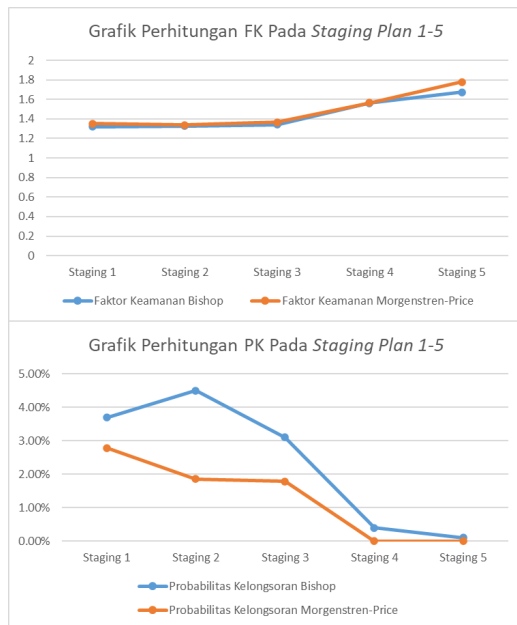
nilai FK adalah 1.777 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.0% ($PK < 5\%$) sehingga lereng dinyatakan aman atau stabil.

Pada penelitian ini, dilakukan analisis pada kondisi aktual lereng minggu ke 23, sehingga jika terdapat ketidaksesuaian antara keadaan aktual dengan perencanaan, dapat segera dilakukan perbaikan atau evaluasi. Berikut dibawah ini merupakan hasil analisis lereng aktual mudcell pada minggu ke 23:



Gambar 6. Hasil Simulasi FK dan PK lereng aktual W2322 A-B Bishop(atas) dan Morgenstren-Price(bawah)

Dari segi kestabilan lereng aktual minggu terakhir penelitian (W2322), kondisi aktual tidak memerlukan desain perbaikan geometri lereng dikarenakan telah memenuhi standar nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran, namun dikarenakan kondisi aktual tidak sesuai dengan desain lereng mudcell yang sudah disetujui sebelumnya, maka perbaikan geometri lereng tetap diperlukan sehingga kebutuhan operasional untuk mengurangi jumlah volume *overburden* pada Pit_XY dapat dipenuhi sesuai plan. Berdasarkan Kepmen ESDM 1827K/30/MEM/2018 dan P-GNH-04 lereng berada dalam kondisi aman ketika $FK \geq 1,5$ dan $PK < 5\%$. Berdasarkan analisis kestabilan lereng diperoleh bahwa pada lereng aktual minggu ke 23 section AB di Pit_XY berada dalam kondisi relatif stabil baik menggunakan metode Bishop maupun Morgenstren-Price. Perbandingan pada perhitungan nilai FK dan PK antara metode Bishop dengan Morgenstren-Price disajikan pada grafik dibawah ini:



Gambar 7. Grafik Perhitungan FK dan PK Pada Staging 1-5

Sedangkan pada minggu ke-23, hasil analisis probabilitas kelongsoran memiliki nilai FK sebesar 1.561 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.4% ($PK < 5\%$) pada Bishop, sedangkan pada Morgenstren-Price, nilai FK adalah 1.565 ($FK \geq 1.5$), dan PK 0.0% ($PK < 5\%$).

KESIMPULAN

Hasil analisis probabilitas kelongsoran terhadap *progress staging* lereng timbunan *mudcell* di Pit_XY pada minggu ke-23 dan pada *staging plan* 1-5 menghasilkan nilai FK dan PK yang relatif stabil setiap baik menggunakan metode perhitungan Bishop maupun Morgenstren-Price, namun nilai yang dihasilkan oleh perhitungan Bishop cenderung lebih rendah jika dibandingkan dengan perhitungan Morgenstren-Price pada semua simulasi yang dilakukan, sehingga perhitungan Bishop dapat digunakan sebagai acuan hasil FK dan PK yang pesimis pada penelitian ini. Kondisi lereng yang stabil pada minggu ke-23 disebabkan oleh geometri aktual pada lereng timbunan *mudcell* memiliki slope yang relatif lebih landai jika dibandingkan dengan desain perencanaannya, hal ini memiliki sisi positif

pada keamanan lereng namun memiliki sisi negatif pada produktifitas OB. Hal ini dikarenakan semakin landai geometri lereng yang dibentuk, maka kebutuhan OB akan semakin besar, sedangkan ketersediaan OB dan luas area produksi terbatas.

SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penyesuaian geometri lereng aktual dengan perencanaan secara rutin (setiap minggu) sehingga ketika ditemukan ketidaksesuaian antara kondisi aktual dengan *staging plan* dapat segera dilakukan evaluasi kepada mitra kerja.
2. Melakukan pengukuran tinggi muka air tanah pada keadaan aktual menggunakan piezometer, hal ini diperlukan untuk meningkatkan keakuratan terhadap estimasi titik rembesan pada lereng timbunan *mudcell* dan tidak hanya mengandalkan hasil simulasi pada *software Rocscience Slide v6.0*

DAFTAR PUSTAKA

- Arif, I. (2016). Geoteknik Tambang: Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng. Bandung: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Bowles, J. E. 1989. Sifat-sifat fisik dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Hoek, E., & Bray, J. W. (1981). Rock Slope Engineering, 3rd Ed. London: Institution of Mining and Metallurgy.
- Ilham, M. Y., Muslim, D., & Zakaria, Z., (2021). Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah dan Getaran Kendaraan Terhadap Kestabilan Lereng (Studi Kasus Lereng Spillway Proyek Bendungan Ciawi, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor).

Padjadjaran Geoscience Journal, Vol.
5, No. 6, Desember 2021. Hal. 587-
591 i-ISSN: 2597-4033

Kepmen ESDM No. 1827 K/ 30/ MEM/
(2018). Pedoman Pelaksanaan Kaidah
Teknik Pertambangan Yang Baik.
Menteri Energi dan Sumber Daya
Mineral Republik Indonesia.

P-GNH-04. P. Permintaan Kajian dan
Rekomendasi Geoteknik dan
Hidrologi (G&H). Edisi/Rev: 19
Januari 2021. PT. Berau Coal

S-GNH-02.02. Standar Pembentukan Filled
Embankment di Area Sump.
Edisi/Rev: 6 Januari 2021. PT. Berau
Coal

Situmorang, R. L., & Burhan, G., (1995).
Peta Geologi Lembar Tanjung Redeb,
Kalimantan. Pusat Penelitian dan
Pengembangan Geologi. Bandung.

Wesley, L. D., (2010). *Fundamentals of
Soils Mechanics for Sedimentary and
Residual Soils*. John Wiley & Sons,
Inc., New Jersey.

Wyllie, D. C., & Mah, C. (2004). *Rock
Slope Engineering*. CRC Press

Zakaria, Z. (2011). Analisis Kestabilan
Lereng Tanah, Fakultas Teknik
Geologi, Universitas Padjadjaran, 40
hal.
[https://sites.unpad.ac.id/zufialdizakaria/wp-
content/uploads/sites/325/2009/11/zuf
ialdi-zakaria-Analisis-Kestabilan-
Lereng-2011.pdf](https://sites.unpad.ac.id/zufialdizakaria/wp-content/uploads/sites/325/2009/11/zufialdi-zakaria-Analisis-Kestabilan-Lereng-2011.pdf).