

Kajian Geoteknik Untuk Optimalisasi Desain Tambang Batubara Menggunakan *Limit Equilibrium Method* di PT Alamjaya Bara Pratama, Desa Jembayan, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur

Luqmanul Hakim Maulana*, Indra Karna Wijaksana dan Dudi Nasrudin Usman

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*luqmanulhakimmaulana@gamil.com

Abstract. PT Alamjaya Bara Pratama as one of the companies engaged in coal mining has planned to build pits and piles on an unopened land. Therefore a geotechnical study is needed to analyze the slope geometry that has been planned by the company. Research activities carried out by collecting primary data obtained from geotechnical drilling from 2 points that are considered to represent the characteristics of rock or soil masses from several pits. Rock layers making up the mine slope are dominated by sandstone and claystone, also found carbonaceous claystone in addition to the coal to be mined. Rocks in the study area including moderate to weak rock criteria are proven by the strength of rock mechanical properties 0.36 - 12.95 MPa. Groundwater level measurements in the study area are included in saturated conditions with MAT depth of 4.53 and 11.96 meters from the surface. The study was conducted in pit 10 with 3 section sections, namely A-A cross section up to C-C cross section, which represents the shape of pit 10 coal mining including highwall and lowwall. Slope stability for the initial mine design plan in cross sections A-A 'to C-C section' for highwall and lowwall slopes safety factors are stable and some are unstable, so for slopes that are in stable condition and can still be re-design is done with a slope that is steeper than before, then for unstable slopes redesigned with slope slopes that are slower than before, it is done as an effort to enlarge the restraining force of the slope driving force. Recommended slope for cross section A-A 'highwall slope is overall slope angle 380 and slope height 71,928 m, cross section B-B' highwall slope is overall slope angle 290 and slope height 34,139 m and for cross section C-C 'highwall slope is overall slope angle 300 and 97,900 m slope height. The safe embankment slopes are made with various variations one of the angles is simulated with a slope height of 40 meters with a slope of 20°.

Keywords: Slope Stability, Highwall, Lowwall, Limit Equilibrium Method

Abstrak. PT Alamjaya Bara Pratama sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara telah merencanakan pembuatan pit dan timbunan di suatu lahan yang belum dibuka. Oleh

karena itu diperlukan studi geoteknik untuk menganalisis geometri lereng yang telah direncanakan oleh perusahaan. Kegiatan penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data primer yang diperoleh dari pengeboran geoteknik dari 2 titik yang dianggap mewakili karakteristik massa batuan atau tanah dari beberapa pit. Lapisan batuan penyusun lereng tambang didominasi oleh batupasir dan batulempung, dijumpai pula *carboneous claystone* disamping batubara yang akan ditambang. Batuan di lokasi penelitian termasuk kriteria batuan sedang sampai lemah dibuktikan oleh kekuatan sifat mekanik batuan 0,36 – 12,95 MPa. Pengukuran muka air tanah di daerah penelitian termasuk dalam kondisi jenuh dengan kedalaman MAT 4,53 dan 11,96 meter dari permukaan. Penelitian dilakukan pada pit 10 dengan 3 garis penampang (section) yaitu penampang A-A' sampai dengan penampang C-C', yang merepresentasikan bentuk dari pit 10 penambangan batubara meliputi *highwall* dan *lowwall*. Kemantapan lereng untuk rencana desain tambang awal pada penampang A-A' sampai dengan penampang C-C' untuk lereng *highwall* dan *lowwall* faktor keamanannya terdapat yang sudah stabil dan ada pula yang tidak stabil, sehingga untuk lereng yang berada dalam kondisi stabil dan masih dapat dioptimalkan dilakukan desain ulang dengan kemiringan lereng yang lebih curam dari sebelumnya, kemudian untuk lereng yang tidak stabil dilakukan desain ulang dengan kemiringan lereng yang lebih landai dari sebelumnya, hal tersebut dilakukan sebagai salah satu upaya untuk memperbesar gaya penahan dari gaya penggerak lereng. Rekomendasi lereng untuk penampang A-A' lereng *highwall* yaitu kemiringan lereng 38° dan tinggi lereng 71,928 m, penampang B-B' lereng *highwall* yaitu kemiringan lereng 29° dan tinggi lereng 34,139 m dan untuk penampang C-C' lereng *highwall* yaitu overall slope angle 30° dan tinggi lereng 97,900 m. Lereng timbunan yang aman dibuat dengan dengan berbagai variasi salah satu sudut disimulasikan dengan tinggi lereng 40 meter dengan kemiringan lereng 20° .

Kata Kunci: Kestabilan Lereng, Highwall, Lowwall, Metode Kestimbangan Batas

1. Pendahuluan

Aktivitas penambangan pada umumnya melakukan kegiatan penggalian serta penimbunan material yang berkaitan dengan lereng baik itu berupa lereng kerja (*working slope*) maupun lereng akhir (*final slope*). Lereng-lereng tersebut harus dianalisis kemantapannya untuk mencegah bahaya kelongsoran yang dapat terjadi sewaktu-waktu, karena berhubungan dengan keselamatan kerja, keamanan peralatan. Pada kegiatan penambangan, seperti penggalian pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan besarnya gaya yang bekerja pada lereng tersebut yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng.

PT Alamjaya Bara Pratama (ABP) sebagai salah satu perusahaan yang bergerak dibidang pertambangan batubara dengan sistem tambang terbuka. Berdasarkan keterdapatannya terjadinya longsoran di pit 7 selatan menjadi salah satu hal perlu dilakukan evaluasi serta kajian kembali desain lereng tambang yang telah dibuat. Selain itu perusahaan juga akan merencanakan pembuatan pit dan timbunan di suatu lahan yang belum dibuka. Oleh karena itu untuk menjaga kestabilan lereng yang aman maka diperlukan kajian geoteknik untuk mengoptimalkan geometri lereng bukaan tambang serta timbunan yang telah di rencanakan oleh pihak perusahaan.

Maksud dari penelitian ini yaitu untuk melakukan optimalisasi geometri lereng desain tambang guna mendukung rencana penambangan batubara yang optimal, stabil dan aman. Selanjutnya untuk tujuan dari penelitian ini diantaranya yaitu :

1. Melakukan analisis untuk optimalisasi pada desain geometri lereng tunggal.
2. Melakukan analisis untuk optimalisasi pada desain geometri lereng *highwall*.
3. Melakukan analisis untuk optimalisasi pada desain geometri lereng *lowwall*.
4. Melakukan analisis untuk optimalisasi pada desain geometri lereng timbunan.

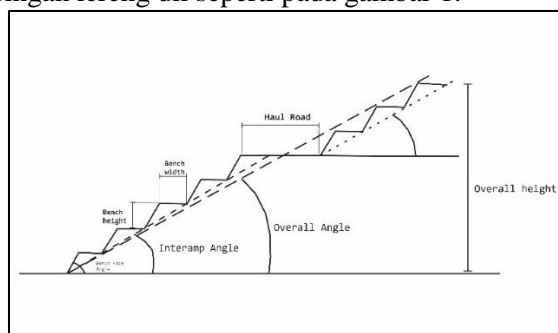
2. Landasan Teori

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan manusia, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang bertanggung jawab terhadap kestabilan lereng tersebut. Pada kondisi gaya penahan terhadap longsor lebih besar dari gaya penggerak, lereng tersebut akan berada dalam kondisi yang stabil (aman). Namun, apabila gaya penahan terhadap longsor lebih kecil dari gaya penggerak, lereng tersebut tidak stabil dan akan terjadi longsor. Sebenarnya, longsor merupakan suatu proses alami yang terjadi untuk mendapatkan kondisi kestabilan lereng yang baru (keseimbangan baru), dimana gaya penahan lebih besar dari gaya penggerak.

Faktor yang berpengaruh terhadap stabilitas atau kelongsoran lereng, menurut penulis (Suratha, 1994) dapat dikelompokkan menjadi 5 faktor utama, yaitu sebagai berikut:

1. Geometri lereng

Hal ini berpengaruh pada stabilitas lereng dengan parameter meliputi tinggi, lebar, sudut kemiringan lereng dll seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Geometri lereng pada tambang terbuka (Hoek dan Bray, 1981)

2. Sifat fisik dan sifat mekanik.
Sifat fisik yang mempengaruhi kemantapan lereng adalah *density*, porositas dan kandungan air. Sifat mekanik yang juga mempengaruhi kemantapan lereng diantaranya kuat tekan, kuat tarik, kohesi dan sudut gesek dalam.
3. Arah umum struktur diskontinu-itas massa batuan lereng terhadap orientasi muka lereng bukaan tambang. Struktur batuan yang sangat mempengaruhi kemantapan lereng adalah bidang sesar, perlapisan dan rekahan. Struktur batuan tersebut merupakan bidang lemah dan sekaligus sebagai tempat merembesnya air.
4. Faktor luar sistem lereng,
Faktor ini dapat berupa beban luar (sarana prasarana tambang) dan getaran (gempa bumi atau akibat peledakan tambang).
5. Air tanah
Massa batuan pada lereng secara kajian hidrogeologi memiliki kemampuan untuk menyangkan dan mengalirkan air yang berpengaruh terhadap kondisi sifat fisik dan material bahan galian.

2.1 Metode Kestimbangan Batas (*Limit Equilibrium Method*)

Metode kestimbangan batas merupakan metode yang sangat populer digunakan untuk menganalisis kestabilan lereng tipe gelinciran translasional dan rotational. Metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti kendalanya dalam praktik rekayasa bertahun-

tahun. Perhitungan analisis kestabilan lereng hanya menggunakan kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan tegangan - regangan pada lereng. Asumsi lainnya, yaitu geometri dari bentuk bidang runtuh, harus diketahui dan ditentukan terlebih dahulu.

Metode keseimbangan batas dapat dinyatakan dengan persamaan-persamaan keseimbangan dari satu atau beberapa blok yang diasumsikan tidak terdeformasi dan mengurangi gaya - gaya yang tidak diketahui reaksi dari bagian stabil massa batuan atau gaya antara blok, khususnya gaya geser yang bekerja pada permukaan longsor yang dipilih sebelumnya. Dalam metode ini, lereng dibagi dalam beberapa segmen dengan pusat gaya di titik tertentu, kemudian menganalisis gaya yang berkerja pada lereng, saat terjadi longsor dan setiap bagian pada kondisi keseimbangan statis.

2.2 Kriteria Kemantapan Lereng

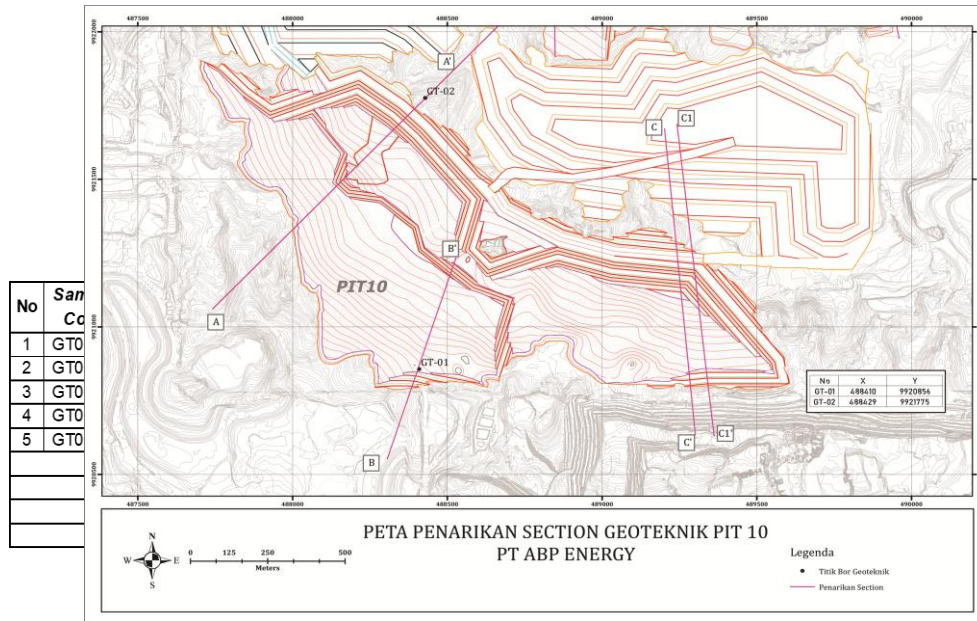
Analisis ini akan menggunakan $FK \geq 1,1$ untuk menyatakan bahwa lereng dalam keadaan stabil dengan nilai probabilitas kelongsoran maksimal $\leq 5\%$, dan jika hasil simulasi mempunyai $FK \leq 1,1$ dan nilai probabilitas kelongsoran $\geq 5\%$, maka lereng dinyatakan belum stabil. sesuai kriteria faktor keamanan yang dianjurkan KEPMEN ESDM nomor 1827, 2018 tentang kaidah teknik pertambangan yang baik.

Tabel 1. Kriteria faktor keamanan (Kepmen ESDM 1827 : 2018)

Jenis Lereng	Dampak Longsoran	FK_{\min} Statik	FK_{\min} Dinamik	PK_{\max}
Tunggal (<i>Bench</i>)	Rendah Tinggi	1,1	NA	25-50%
Multi Jenjang (<i>Interramp</i>)	Rendah	1,15 – 1,2	1	25%
	Sedang	1,2	1	20%
	Tinggi	1,2 -1,3	1,1	10%
Keseluruhan (<i>Overall</i>)	Rendah	1,2-1,3	1	15-20%
	Sedang	1,3	1,05	5-10%
	Tinggi	1,5	1,1	<5%

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pemodelan lereng dilakukan sebagai representasi alamiah lereng bukaan tambang yang akan dianalisis dengan memasukkan faktor internal dan faktor eksternal, sehingga dapat menggambarkan dan mewakili keadaan lereng bukaan tambang mendekati keadaan sebenarnya di lapangan. Dalam studi geoteknik ini, pemodelan dan analisis kemantapan lereng akan menggunakan pemodelan numerik metode kesetimbangan batas. Analisis kemantapan lereng bertujuan untuk mengetahui kondisi stabilitas lereng bukaan tambang yang akan terbentuk sesuai dengan rencana penambangan (*pit plan*) yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Rencana Penambangan

1. Hasil Uji Laboratorium

Sampel yang telah diambil (*Undisturbed Sample*) akan dilakukan pengujian sampel di Laboratorium geomekanik diantaranya pengujian sifat fisik meliputi (berat natural, berat jenuh, porositas dan *void ratio*) dan pengujian sifat mekanik meliputi (kuat tekan, *modulus elasticity*, *cohesion*, sudut gesek dalam). Berikut adalah contoh tabel hasil pengujian sampel di Laboratorium Geomekanika (Tabel 2.) :

Tabel 2. Contoh Hasil uji laboratorium sampel titik bor GT-02

2. Input Parameter Yang Digunakan Untuk Pemodelan Geoteknik

Dalam kajian ini, pemodelan ~~Dasar~~ *Disposals* kemantapan lereng Tunggal, *Highwall*, *Lowwall* serta Timbunan berdasarkan desain rencana akhir tambang, Analisis lereng ini akan menggunakan pendekatan analisis sebagai berikut :

- Beban dinamik

Beban dinamik yang dimaksudkan dalam pemodelan ini gaya luar berupa faktor kegempaan dengan satuan *g* (*gravity*) yang didasarkan pada Peta Zonasi Gempa Indonesia yang memiliki beban dinamik sebesar 0,093 *g*. Untuk pemodelan geometri lereng tambang dan lereng timbunan yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan

percepatan getaran peledakan yang dihasilkan oleh perusahaan yaitu 0,15 *g*.

- Karakteristik material

Input parameter pemodelan geoteknik (sifat fisik dan sifat mekanik) batuan untuk semua lapisan pembentuk model lereng ditentukan berdasarkan

No	Lithology	From (m)	To (m)	Sample Code	pn (g/cc)	ps (g/cc)	oc (MPa)	E (MPa)	C (kPa)	θ (°)
1	Soil	2,00	2,50	GT02/01	2,03	2,05	0,17	5,80	55,27	15,96
2	Claystone	7,00	7,50	GT02/02	1,92	1,94	0,05	3,10	92,47	19,27
3	Sandstone	11,50	12,00	GT02/03	2,29	2,29	1,61	43,90	375,66	35,79
4	Claystone	18,50	19,00	GT02/04	2,18	2,18	1,34	21,70	371,29	41,28
5	Sandstone	23,30	23,80	GT02/05	2,04	2,07	4,58	34,98	367,46	32,69
6	Sandstone	25,00	25,50	GT02/06	2,03	2,06	10,29	69,26	374,23	46,41
7	Sandstone	32,30	32,80	GT02/07	2,03	2,09	12,95	74,88	225,78	44,26

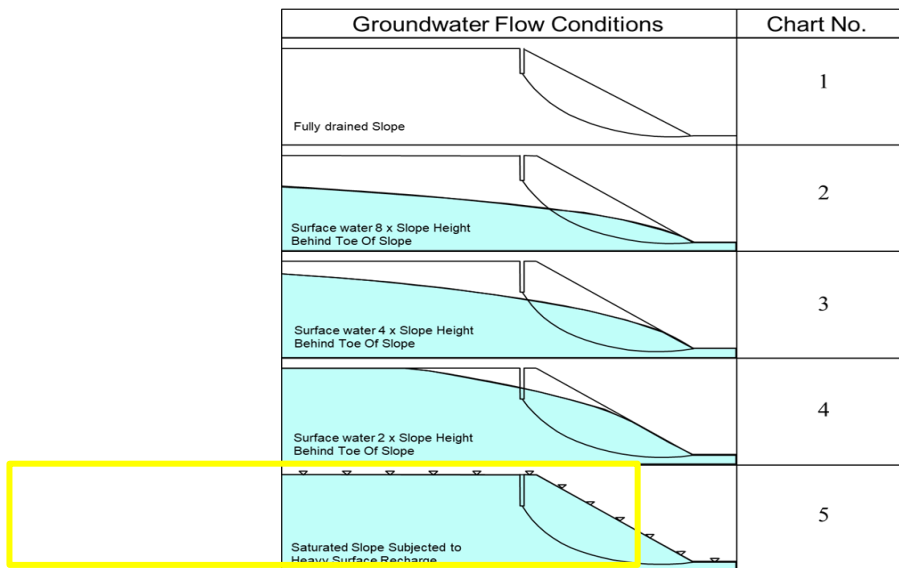
karakterisasi massa batuan hasil dari uji laboratorium. Database salah satu dari beberapa hasil uji laboratorium geomekanik yang dilakukan dengan beberapa penyesuaian dapat dilihat pada Tabel 3 :

Tabel 3. Contoh Input parameter kekuatan batuan claystone GT-02

- Muka air tanah (MAT)

Efek dari keberadaan air dalam massa batuan adalah menambah massa jenis batuan sehingga beban yang harus ditahan oleh lereng bertambah serta menurunnya kekuatan massa batuan. Data dari pengukuran.

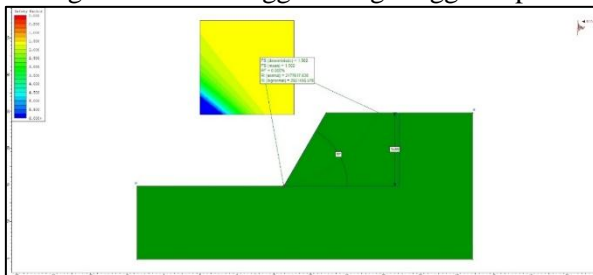
Pada pemodelan geoteknik lereng tunggal sesuai dengan karakter-istik tiap litologi. Untuk litologi claystone, coal, carbon dan soil diasumsikan memiliki keadaan air tanah yang kering. Sedangkan lereng tunggal dengan litologi sandstone diasumsikan memiliki keadaan air tanah yang jenuh. Hasil pengukuran ketinggian MAT di lokasi penelitian yang hampir mendekati permukaan maka diasumsikan bentuk muka air tanah berdasarkan MAT nomor 5 atau keadaan jenuh oleh Hoek & Bray (Gambar 3) .



Gambar 3. Kondisi muka air tanah (Hoek, 1981)

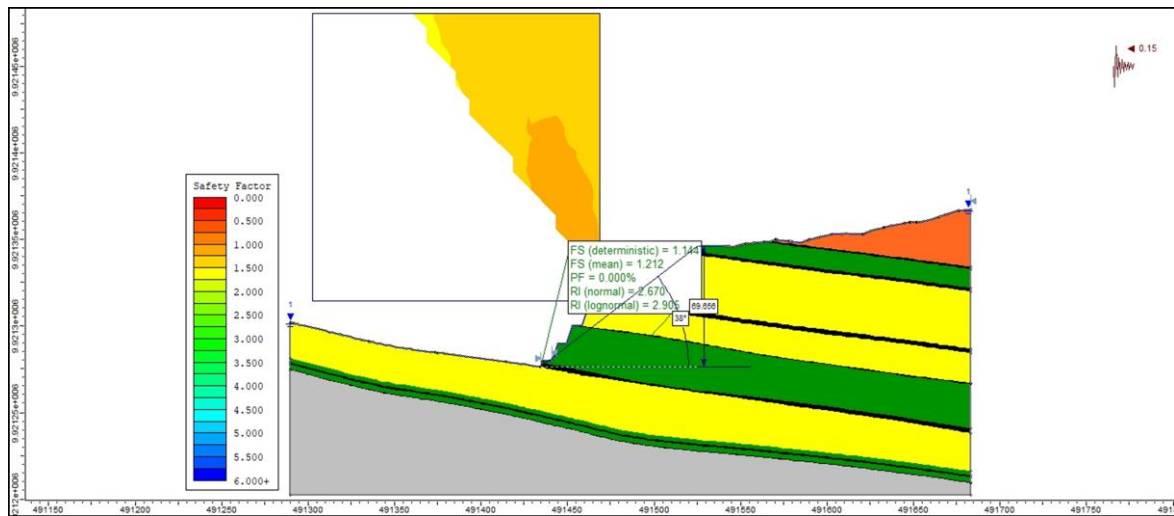
3. Pemodelan dan Analisis Keman-tapan Lereng Tunggal

Lereng tunggal dibuat dengan dengan berbagai variasi sudut dengan kenaikan 5° setiap simulasi lereng tunggal, lereng tunggal disimulasikan dengan tinggi jenjang 5 dan 10 meter dengan kemiringan 55° , 60° , 65° dan 70° untuk litologi soil, batupasir, batulempung, coal dan carbon. Dari hasil simulasi dan analisis lereng tunggal pada semua litologi penyusun lereng dominan didapatkan $FK > 1,1$ terdapat dua litologi soil dan claystone, untuk soil mempunyai nilai $FK = 1,03$ dan $PK = 0\%$ dan untuk claystone mempunyai nilai $FK = 1,03$ dan $PK = 0\%$ dengan tinggi lereng 10 m dan sudut lereng 70° termasuk lereng yang curam dan lereng tunggal tersebut termasuk kondisi kritis. Lereng tunggal dibuat dengan kemiringan tidak curam sampai yang curam hampir seluruhnya tetap menghasilkan faktor kemanan yang stabil dan probabilitas kelongsoran 0% sehingga lereng tunggal dapat diaplikasikan pada lereng keseluruhan.



Gambar 4. Contoh simulasi lereng tunggal litologi claystone ($H = 10\text{ m}$, $\alpha = 60^\circ$, $SF = 2,26$, $PF = 0\%$)

4. Pemodelan dan Analisis Keman-tapan Lereng Keseluruhan *Highwall*



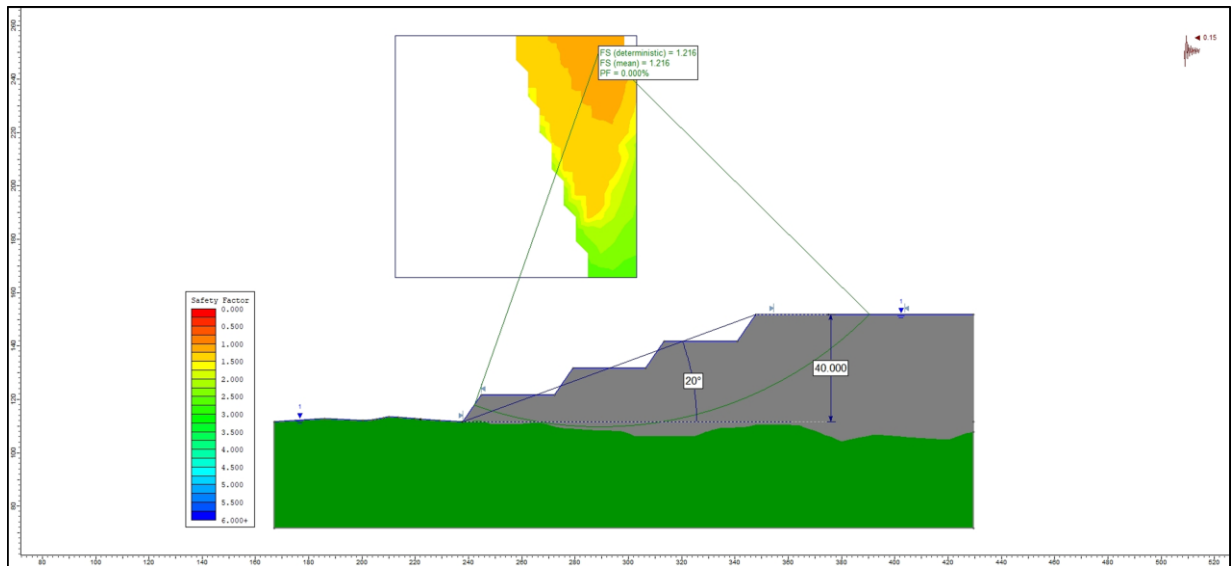
Gambar 5. Contoh simulasi highwall penampang A-A' (Rekomendasi)
 (H = 71,928 m, $\alpha = 38^\circ$, FK = 1,144, PK = 0 %)

Hasil pemodelan lereng highwall pada penampang A-A' menunjukkan rencana geometri lereng bukaan akhir tambang dengan tinggi lereng 69,665 meter dan sudut kemiringan lereng 33° menunjukkan desain lereng yang aman (FK = 1,344 dan PK= 0%) dan masih dapat dioptimalkan dengan meningkatkan sudut kemiringan menjadi 38° (FK = 1,144 dan PK = 0%) (Gambar 5).. Pemodelan dan Analisis Keman-tapan Lereng Keseluruhan lowwall

Penampang A-A' pit 10 (lowwall) hasil pemodelan lereng lowwall pada penampang A-A' menunjukkan rencana geometri lereng bukaan akhir tambang dengan tinggi lereng 48,105 meter dan sudut kemiringan lereng 13° menunjukkan desain lereng yang aman dengan nilai FK = 1,298 dan PK = 0 % (Gambar 6).

Pit	Penampang	Lereng	Elevasi terendah (mdpl)	Tinggi (m)	Kemiringan (0)	SF	PF (%)	Keterangan
10	A-A'	Highwall	-30	69,665	33	1,334	0	Desain ABP
		Highwall		71,928	38	1,144	0	Rekomendasi
		Lowwall	-20	48,105	13	1,298	0	Desain ABP
		Highwall 2		31,422	32	1,040	14,8	Desain ABP
		Highwall 2		30,920	31	1,182	0	Rekomendasi
		Lowwall 2		38,591	11	1,331	0	Desain ABP
	B-B'	Highwall	-15	35,892	39	0,844	100	Desain ABP
		Highwall		34,139	29	1,114	0,1	Rekomendasi
		Lowwall		37,231	27	1,082	0	Desain ABP
	C-C'	Highwall	-30	97,900	30	1,137	0	Desain ABP
Lowwall		69,284		15	1,124	1,5	Desain ABP	
C1-C1'	Lowwall	-30	31,533	28	1,218	0	Desain ABP	

Dari pemodelan dan analisis yang dilakukan pada 3 garis penampang pit 10 maka



Gambar 6. Contoh simulasi lereng timbunan di luar pit (OPD) ($H=40m$, $\alpha=20^\circ$, $FK=1,216$, $PK=0,00$)

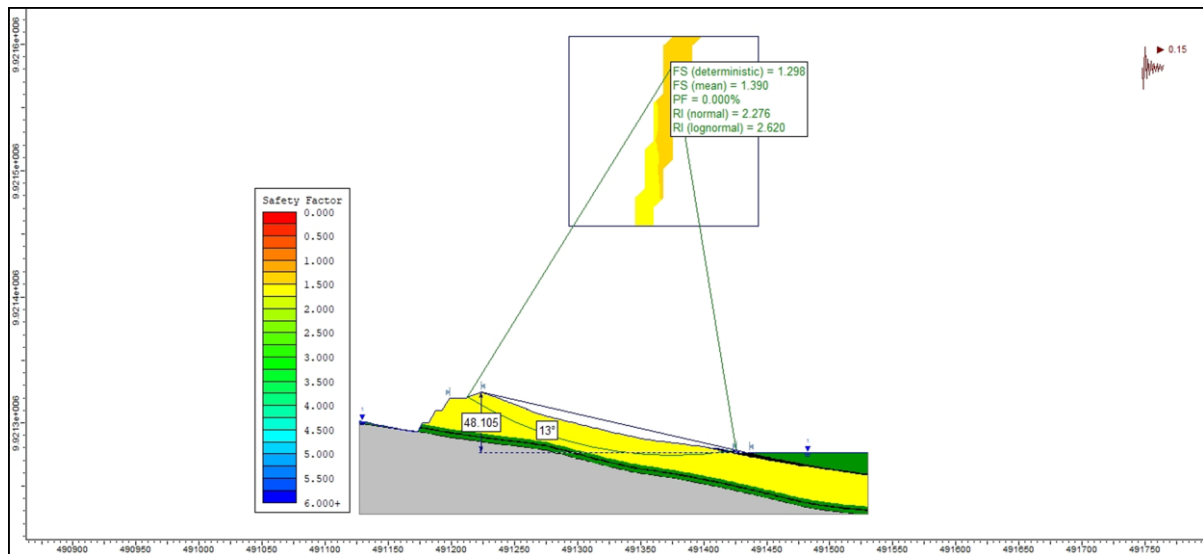
dihasilkan nilai FK dan PK seperti pada Tabel 4. berikut :

Tabel 4. Rekapitulasi hasil simulasi dan analisis kemantapan lereng keseluruhan

6. Pemodelan dan Analisis Kemantapan Lereng Timbunan

Menurut jenis material yang akan ditimbun, waste dump akan dibentuk oleh timbunan yang terdiri dari atau campuran dua jenis batuan, yaitu batulempung dan batupasir, dengan perbandingan komposisi campuran 55% : 45% (data log bor geoteknik).

Analisis kestabilan lereng untuk timbunan (*waste dump slope*) dilakukan dengan metode keseimbangan batas. Simulasi lereng timbunan menggunakan variasi sudut dan ketinggian lereng yang berbeda-beda untuk menunjukkan bahwa semua model yang disimulasikan diharapkan dapat digunakan dalam kondisi yang stabil dengan menggunakan acuan faktor keamanan (FK) ~ 1,20 dan memperhitungkan faktor getaran sebesar 0,15 g, contoh simulasi dapat dilihat pada gambar 7 dan rekapitulasi hasil pemodelan dan analisis kemantapan lereng dapat dilihat pada tabel 6.



Gambar 6. Contoh simulasi *lowwall* penampang A-A' (Rekomendasi) ($H = 48,105 m$, $\alpha = 13^\circ$, $FK = 1,298$, $PK = 0 \%$)

Tabel 5. Rekapitulasi hasil pemodelan dan analisis kemantapan lereng timbunan

Tinggi Lereng Timbunan (meter)	Sudut Kemiringan Lereng													
	5°		10°		15°		20°		25°		30°		35°	
	FK	PK	FK	PK	FK	PK	FK	PK	FK	PK	FK	PK	FK	PK
20	-	-	-	-	-	-	-	-	1,548	0%	1,245	0%	1,111	0%
30	-	-	-	-	-	-	1,321	0%	1,252	0%	1,054	0%	-	-
40	-	-	-	-	1,402	0%	1,216	0%	0,965	100%	-	-	-	-
50	-	-	1,339	0%	1,234	0%	0,932	100%	-	-	-	-	-	-
60	1,472	0%	1,212	0%	0,918	100%	-	-	-	-	-	-	-	-

4. Kesimpulan

Perhitungan menggunakan metode kesetimbangan batas secara dua dimensi dapat memberikan pendekatan awal mengenai kondisi stabilitas lereng dengan jenis longoran busur yang ditunjukkan oleh nilai faktor keamanan dan probabilitas kelongsoran. Hasil simulasi dan analisis geoteknik ketika didapati kondisi lereng tidak aman, maka agar lebih mudah dalam *redesign* geometri lerengnya perlu mengetahui dulu kemantapan lereng tunggal yang nantinya akan diterapkan pada lereng keseluruhan sehingga dapat memiliki acuan nilai geometrinya (tinggi dan sudut kemiringan lereng. Simulasi dan analisis geoteknik yang telah dilakukan pada lereng tunggal, lereng keseluruhan (*highwall* dan *lowwall*) serta lereng timbunan didapati beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Geometri lereng tunggal yang aman yaitu tinggi 5 dan 10 meter dengan kemiringan 55°, 60°, 65° dan 70° untuk semua litologi secara keseluruhan didapati nilai $FK > 1,1$ (stabil).
2. Geometri lereng *highwall* yang optimal pada penampang A-A' lereng 1 yaitu sudut lereng keseluruhan 38° dengan tinggi 71,928 meter, kemudian lereng 2 yaitu sudut lereng keseluruhan 31° dengan tinggi 30,920 meter, penampang B-B' yaitu sudut lereng keseluruhan 29° dengan tinggi 34,139 meter dan penampang C-C' yaitu sudut lereng keseluruhan 30° dengan tinggi 97,900 m.
3. Geometri lereng *lowwall* yang optimal pada penampang A-A' lereng 1 yaitu sudut lereng keseluruhan 13° dengan tinggi 48,105 meter, kemudian lereng 2 yaitu sudut lereng keseluruhan 11° dengan tinggi 38,591 meter, penampang B-B' yaitu sudut lereng keseluruhan 26° dengan tinggi 36,889 meter dan penampang C-C' yaitu sudut lereng keseluruhan 25° dengan tinggi 62,284 m.
4. Geometri lereng timbunan yang aman yaitu tinggi lereng 20 meter dengan sudut lereng 30°, tinggi lereng 30 meter dengan sudut lereng 25°, tinggi lereng 40 meter dengan sudut lereng 20°, tinggi lereng 50 meter dengan sudut lereng 15° dan tinggi lereng 60 meter dengan sudut lereng 10°.

5. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan sehubungan dengan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengendalian air, terutama di bagian *highwall* pit bagian utara, karena muka air tanah berdasarkan data GT-02 lebih dekat ke permukaan sehingga yang masuk ke lapisan bahan galain akan melemahkan kekuatan massa batuan.
2. Konsistensi perusahaan dalam mengamati data permukaan, sangat membantu agar penambangan berjalan dengan aman, berhubung data pengeboran geoteknik sangat terbatas untuk mencakup semua area prospek.

Daftar Pustaka

- [1] Arif, Irwandy., 2016, *Geoteknik Tambang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
 [2] Bieniawski, Z. T., 1984, *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, A. A. Balkema,

Rotterdam.

- [3] Bishop, A.W., 1955. *The Use the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes*. Geotechnique, Vol. 5, No. 1, hal 7-17.
- [4] Braja M. Das., 2006, *Principles of Geotechnical Engineering*, Stamford, USA.
- [5] Cahyono. Tri, 2015, *Statistik Uji Normalitas*, Yayasan Sanitarian, Banyumas.
- [6] Hoek, E. & J. W. Bray., 1981. *Rock Slope Engineering*, Revised Third Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- [7] Karl Terzaghi, Ralph B. Peck and Gholomreza Mesri., 1996. *Soil Mechanics in Engineering Practice, Third Edition*. John wiley and sons, New York.
- [8] Maryanto., 2010, *Perencanaan Tambang*, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- [9] Peter, Stacey., 2009, *Open Pit Slope Design*, CSIRO Publishing, Australia.
- [10] Rai, Made Astawa. Suseno K.D. & Ridho K. Wattimena., 2013, *Mekanika Batuan*, Institute Teknologi Bandung, Bandung.
- [11] Sulistijo, Budi., 2002, *Analisis Kemantapan Lereng Batuan*, Kursus Singkat, Geoteknik Terapan Untuk Tambang Terbuka, Departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- [12] Suratha, Gede., 1994, *Geologi Teknik dan PIT Design*, Kursus Perencanaan Tambang, Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- [13] Wijaksana, Indra K., 2017, *Analisis Hubungan Konstitutif Pada Batuan Anisotrop*, Jurnal Teknologi mineral dan Batubara Vol. 13, No. 2, hal 91-98.
- [14]Zakaria, Rihani., 2002, *Pertimbangan Geoteknik Pada Tambang Terbuka Batubara*, Perpustakaan Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung, Bandung. (Tesis, Master)