

Studi Geoteknik untuk Mendukung Pengembangan Penambangan Batubara di Wilayah IUP PT Bara Anugerah Sejahtera Daerah Penambangan Pulau Pangung, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan

Geotechnical Study In Order To Support Coal Mining Development On Pulau Pangung Mine Site Pt Bara Anugerah Sejahtera Muara Enim, South Sumatera

¹Bambang Rasjid, ²Maryanto, ³Yuliadi

^{1,2,3}*Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung,
Jl. Tamansari No. 1 Bandung 40116
e-mail:¹Bambangrasjid.br@gmail.com*

Abstract. Open mining system by open pit method shapes a slope mine. Modelled and analyzed the stability of slope used element method thus with program **Phase2 6.0** supporting because the rock that shape a slope consist of sandstone, mudstone that contain Elasto-plastic. Based on the analysis by $FK \geq 1,3$, earthquake factors about 0,1g, and MAT (underground water surface) condition is saturate, had resulted a recommendation averall slope geometry as follows: high of slope is 106 m with the declivity at 30^0 ($FK = 1,304$) and the high of slope is 90 m with declivity 35^0 ($FK = 1,31$). Analysis slope simulation High-wall top soil slope, got a recommendation result scaffold high 5 m, scaffold wide 5 m, scaffold declivity at 30^0 , wit overall high is 20 m, and overall declivity at 22^0 ($FK = 1,33$). Analysis slope simulation Low-wall top soil slope, got a recommendation result, scaffold high 5 m, scaffold wide 6 m, scaffold declivity at 30^0 and overall declivity at 18^0 ($FK = 1,33$). Analysis of waste dump slope, resulted recommendation scaffold high 5 m, scaffold wide 5 m, declivity each scaffold at 35^0 , with overall high 40 m, and overall declivity at 20^0 ($FK = 1,37$). Analysis singular slope simulation, resulted a recommendation scaffold high 10 m, scaffold wide 6 m, and declivity at 50^0 , with scaffold safety berm = 22 meter (each 5 scaffold).

Keywords: Geotechic, Coal mining, Pangung Island

Abstrak. Sistem tambang terbuka dengan metode open pit membentuk lereng tambang. Pemodelan dan analisis kestabilan lereng dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan dukungan dari perangkat lunak (Program) Phase2 6.0 karena batuan pembentuk lereng terdiri dari sandstone, mudstone yang bersifat Elasto-plastik. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dengan acuan $FK > 1,3$, faktor kegempaan sebesar 0,1g, dan kondisi MAT (Muka Air Tanah) jenuh, dihasilkan rekomendasi geometri lereng keseluruhan (overall slope) adalah : tinggi lereng 106 m dengan kemiringan 300 (nilai $FK = 1,304$) dan tinggi lereng 90 m dengan kemiringan 350 (nilai $FK = 1,31$). Analisis simulasi lereng High-wall bagian atas (Top Soil), dihasilkan rekomendasi tinggi jenjang 5 m, lebar jenjang 5 m, kemiringan jenjang 300, dengan tinggi keseluruhan 20 m, dan kemiringan keseluruhan 220 (nilai $FK = 1,33$). Analisis simulasi lereng Low-wall bagian atas, dihasilkan rekomendasi, tinggi jenjang 5 m, lebar jenjang 6 m, kemiringan setiap jenjang 300 dan kemiringan keseluruhan 180 (nilai $FK = 1,33$). Analisis simulasi lereng timbunan (Waste Dump Slope), dihasilkan rekomendasi tinggi jenjang 5 m, lebar jenjang 5 m, kemiringan setiap jenjang 350, dengan tinggi keseluruhan 40 m, dan kemiringan keseluruhan 200 (nilai $FK = 1,37$). Analisis simulasi lereng tunggal, dihasilkan rekomendasi tinggi jenjang 10 m, lebar jenjang 6 m, dan kemiringan 500, dengan lebar jenjang pengamanan (safety berm) = 22 meter (setiap 5 jenjang).

Kata Kunci: geoteknik, penambangan batu bara, Pulau Pangung

A. Pendahuluan

PT Bara Anugerah Sejahtera bermaksud akan meningkatkan kegiatannya ke tahap operasi produksi dengan membuka tambang batubara di daerah Pulau Pangung, Kecamatan Pulau Pangung, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan. Dalam kaitan dengan maksud tersebut, telah ditetapkan bahwa rencana penambangan dimulai dari blok bagian Barat wilayah IUP. Untuk mendukung desain penambangan itu perlu dan bahkan harus dilakukan studi geoteknik tambang yang didukung dengan data yang memadai.

Analisis kemandapan stabilitas lereng ini dibuat untuk mendukung rencana penambangan batubara sistem tambang terbuka berdasarkan data hasil penyelidikan geoteknik di lapangan, data sekunder, dan data hasil uji laboratorium terhadap sampel geoteknik yang diambil dari pengeboran 6 titik bor geoteknik. Data dari parameter tersebut kemudian dibuat simulasi untuk merekomendasikan desain sudut lereng penambangan yang optimal, dalam arti stabil (tidak longsor), sehingga bisa memberikan rasa aman dalam kegiatan penambangan.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Menentukan kemiringan optimal dan tinggi lereng keseluruhan (*overall slope*) di lereng *High wall*.
2. Menentukan kemiringan optimal lereng *High-wall* bagian atas.
3. Menentukan kemiringan optimal lereng *Low-wall* bagian atas.
4. Menentukan kemiringan optimal dan tinggi lereng timbunan (*waste dump*) hasil bukaan tambang.
5. Menentukan kemiringan optimal dan tinggi lereng tunggal (*single slope*).

B. Landasan Teori

Sebelum melakukan analisis terhadap suatu lereng bukaan tambang, baik untuk mendukung desain maupun dalam rangka mengevaluasi *existing slope*, terlebih dahulu harus menentukan kemungkinan bentuk longsor yang akan terjadi. Secara umum bentuk longsor dapat dibedakan dalam bentuk *circular*, longsor bidang, kombinasi keduanya, dan kompleks. Untuk lereng dengan massa batuan lunak (*soft materials*), seperti antara lain; overburden lunak, tanah, *waste dump*, *tailing dump*, bentuk longsor lereng yang mungkin terjadi adalah mendekati "*circular failure*". Analisis stabilitas lereng menggunakan pendekatan "*soil slope stability*". Untuk lereng dengan massa batuan yang keras, kuat, maka bentuk longsor yang mungkin terjadi adalah bentuk "*planar*" (longsor bidang) yang terjadi melalui bidang diskontinuitas batuan. Kejadian yang sering dijumpai di lapangan adalah longsor bentuk kombinasi antara *circular* dan *planar* karena material lunak berdekatan dengan bagian batuan yang relatif kuat atau keras. Lereng bukaan tambang yang kondisi batuan kompleks, terdiri dari beberapa jenis batuan dengan kondisi geoteknik bervariasi, maka pendekatan analisis dengan menganggap bentuk longsor *circular*, atau longsor bidang, atau kombinasi, tidak dapat diterapkan lagi. Pendekatan analisis numerik dalam hal ini direkomendasikan untuk digunakan.

Metode analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan atas prinsip keseimbangan batas (*limit equilibrium method, LEM*), teori batas plastik (*plastic theory*), dan teori deformasi. Metode analisis berdasarkan teori batas plastik dan teori deformasi banyak dikembangkan menjadi metode analisis numerik, sebagai contoh metode elemen hingga (*finite element method, FEM*).

Banyak metode analisis yang didasarkan atas prinsip keseimbangan batas, yang

sudah dikenalkan, yaitu antara lain metode *Hoek's Charts* (1981), *Jambu* (1972), *Morgenstern Price* (1965), dan *Bishop* (1955). Untuk aplikasi di pertambangan yang kondisi massa batubarnya relatif lunak sampai agak keras seperti pada banyak tambang-tambang batubara di Sumatera dan Kalimantan, disarankan untuk menggunakan metode *Hoek's Charts* dan *Bishop*.

Metode Bishop digunakan dalam menganalisa kestabilan lereng dengan memperhitungkan gaya-gaya antar irisan yang ada dan memperhitungkan komponen gaya-gaya (*horizontal and vertical*) dengan memperhatikan keseimbangan momen dari masing-masing potongan. Metode Bishop mengasumsikan bidang longsor berbentuk busur lingkaran atau circular.

Harga perbandingan ini disebut faktor keamanan lereng F , dimana persamaan matematikanya adalah sebagai berikut :

$$F = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \alpha} \sum \left[c' \cdot b + W(1 - r_u) \tan \phi \cdot \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \phi' \cdot \tan \alpha}{F}} \right]$$

Dalam hal ini :

- F : Faktor Keamanan ;
- W : Berat segmen (kn/m^3) ;
- α : Sudut yang dibentuk pada bidang gelincir pertemuan antara garis tengah setiap *slice* dengan jari-jari sumbu bidang gelincir ($^\circ$) ;
- c' : Kohesi (kn/m^2) ;
- b : Lebar *slice* (m) ;
- r_u : Nilai banding tekanan pori (*pore pressure ratio*) ;
- ϕ : Sudut Geser Dalam ($^\circ$).

Rumus ini dikenal dengan rumus Bishop. Terlihat bahwa sebelah kiri maupun kanan dari persamaan di atas mengandung F . Untuk menghitung harga F , kita harus melakukan pengulangan (iterasi), yaitu kita pilih suatu perkiraan harga F awal (F coba), dan dimasukkan pada ruas kanan persamaan, kemudian dihitung dan diperoleh harga F pada ruas kiri. Hasil perhitungan ini dimasukkan kembalipada ruas kanan dan begitu seterusnya (beberapa kali), sampai didapatkan hasil nilai F pada ruas kiri mendekati sama dengan F input pada ruas kanan. Biasanya iterasi 2 – 3 kali sudah mendapatkan hasil F yang mendekati sama.

Perhitungan tersebut demikian jika dilakukan secara manual, namun dewasa ini sudah banyak metode perhitungan Bishop dibuat dalam program komputer, seperti pada software Slide, Geoslope, dan lain-lain. Sehingga simulasi dan perhitungan faktor keamanan lereng dapat dilakukan dengan lebih baik.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Analisis Kestabilan Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Dalam studi ini, kriteria penilaian stabilitas lereng ditentukan $FK \geq 1,3$. Artinya, lereng bukaan tambang dianggap cukup stabil jika nilai faktor keamanan (*safety factor*) lereng mempunyai nilai minimum 1,30. Hal ini diambil berdasarkan tiga pertimbangan, yaitu ; pertama, data geoteknik utama hanya berasal dari 6 lubang bor yang jaraknya cukup berjauhan. Kedua, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa kekuatan batuan rata-rata bersifat relatif lemah (kuat tekan kurang < 1 MPa). Ketiga,

pengamatan kualitatif batuan hasil pengeboran inti juga menunjukkan bahwa batuan termasuk dalam kategori *low-strength material* dengan kualitas “jelek (*poor*)” sampai “sedang (*fair rock*)”. Analisis stabilitas lereng keseluruhan dilakukan pada 3 penampang, setiap penampang memotong 2 lereng akhir tambang sehingga model lereng yang dianalisis adalah 6 lereng. Dari keseluruhan analisis tersebut, simulasi dilakukan sampai memperoleh $FK = 1,30$.

Resume hasil simulasi dan analisis stabilitas lereng keseluruhan (*overall slope*) untuk seluruh area rencana penambangan (*Pit Plan*) dengan elevasi lantai bukaan tambang -20 m, disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Resume Simulasi Analisis Stabilitas Lereng Keseluruhan

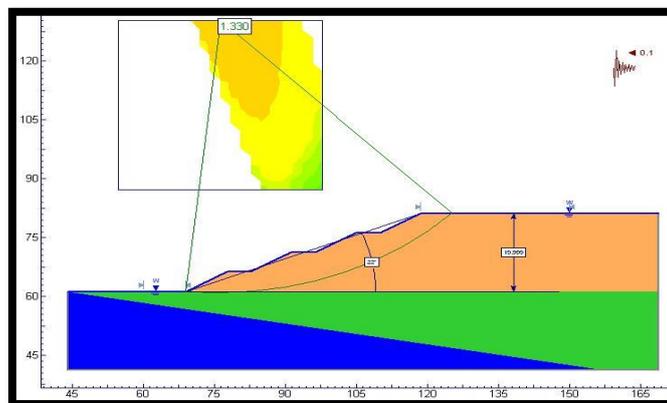
Section	Lereng	Tinggi m	Kemiringan derajat	FK -	Lereng	Tinggi m	Kemiringan derajat	FK -
Section-A	Highwall	104	44	1.093	Lowwall	85	6	1.328
		105	35	1.218				
		106	30	1.304				
Section-B	Highwall	103	43	1.127	Lowwall	80	7	1.323
		104	35	1.227				
		100	30	1.321				
Section-C	Highwall	86	44	1.166	Lowwall	75	8	1.316
		88	40	1.203				
		90	35	1.310				
Rekomendasi								

Analisis Kemantapan Lereng *High-wall* Bagian Atas

Pada bagian permukaan atas lereng high-wall, pada area tertentu terdapat lapisan tanah atas (*top soil*) yang lemah bahkan diduga ada yang sangat lemah, sehingga perlu dibuat analisis tersendiri untuk menentukan arah (referensi) pada saat operasi penggaliannya. Model dan analisis lapisan top soil ini, adalah sebagai dalam gambar berikut ini.

Dari analisis yang dilakukan ini dapat direkomendasikan bahwa :

1. Kemiringan lereng top soil (tebal maksimum 20 meter) = 22 derajat ($FK = 1,330$).
2. Dibuat dalam 4 level masing-masing dengan tinggi 5 meter kemiringan 30 derajat.



Gambar 1. Hasil Pemodelan Analisis Kemantapan Lereng High-wall Bagian atas

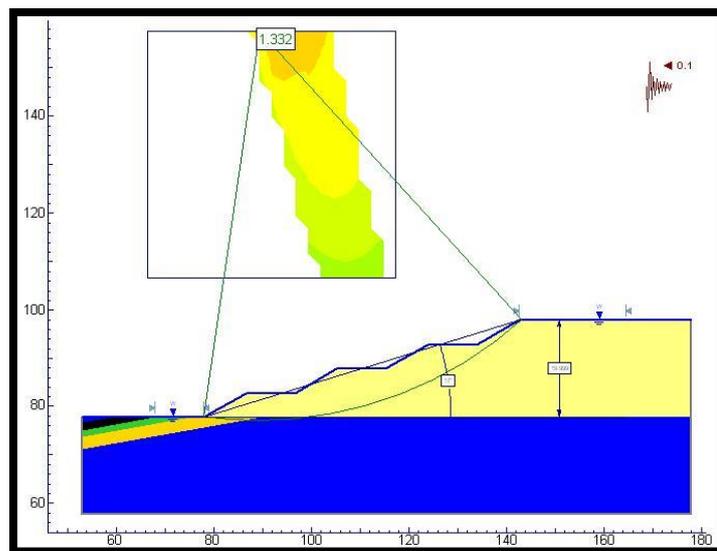
Analisis Kemantapan Lereng *Low-wall* Bagian Atas

Secara keseluruhan lereng *low-wall* dengan kemiringan antara $6 - 8^\circ$ dan tinggi bukaan tambang 80 m, 75 m, 70 m dalam kondisi stabil dengan $FK > 1,30$. Namun, masalahnya adalah pada ujung di sebelah atas lapisan *low-wall*, yaitu terdapat material sedimen yang diperkirakan berasal dari sedimen sungai purba, yang telah dibuktikan secara geologis. Tebal lapisan sedimen sungai purba ini bervariasi, maksimal dengan tebal 20,0 m. Untuk mengantisipasi dan menghindari kemungkinan kelongsoran lapisan sedimen sungai purba pada waktu mendatang, telah dilakukan simulasi dan analisis kemantapan lereng sedimen sungai purba dengan ketebalan 20m. Sedangkan untuk lokasi lainnya dengan tebal kurang dari 20 m, tidak dilakukan analisis dan dapat mengacu pada analisis ini.

Parameter geoteknik untuk lapisan sedimen sungai purba ini, di-asumsikan sebagai berikut.

Kohesi = 0 kPa
 Sudut geser dalam, $\phi = 20$
 Bobot isi = 16 kN/m³

Sedimen dengan tebal 20m ini dibagi-bagi dalam 4 level (*benches*), masing-masing dengan tinggi $H = 5\text{m}$ dan lebar jenjang 6 m, kemiringan $\beta = 30^\circ$ dan kemiringan overall $\alpha_{\text{overall}} = 18^\circ$. Hasil simulasi dan analisis kemantapan lereng dengan asumsi kondisi air jenuh, menunjukkan bahwa lereng dengan model tersebut cukup stabil dengan faktor keamanan, $SF = 1,332$.



Gambar 2. Hasil Pemodelan Analisis Kemantapan Lereng *Low-wall* Bagian Atas

Analisis Kemantapan Lereng Timbunan (*Waste Dump Slope*)

Analisis untuk menentukan tinggi dan sudut lereng untuk material timbunan dilakukan sama halnya dengan analisis lereng bukaan tambang. Lereng keseluruhan (*overall waste dump slope*) disimulasikan dengan sudut 20° , 25° , dan 30° dengan ketinggian bervariasi dari 10 sampai dengan 50m.

Menurut jenis material yang akan ditimbun, *waste dump* akan dibentuk oleh timbunan yang terdiri dari atau campuran dari dua jenis batuan, yaitu batulempung dan batupasir dengan komposisi yang hampir berimbang.

Tabel 2. Hasil Rekapitulasi Faktor Keamanan Lereng Timbunan

TINGGI LERENG(m)	SUDUT LERENG (derajat)		
	20	25	30
10	3,11	2,69	2,38
20	1,84	1,62	1,44
30	1,55	1,39	1,26
40	1,37	1,22	1,06
45	1,31	1,17	0,99
50	1,26	1,09	0,96

Dari tabel hasil analisis tersebut di atas, dapat direkomendasikan bahwa tinggi lereng timbunan keseluruhan (*overall*) adalah 45 meter dengan kemiringan 20 derajat, tinggi jenjang 5 meter kemiringan jenjang 35 derajat dan berm 5 meter.

Analisis Stabilitas Lereng Tunggal (*Single Slope*)

Simulasi analisis stabilitas lereng tunggal dilakukan dengan variable :

1. Jenis batuan (sandstone dan mudstone)
2. Tinggi lereng tunggal (6m, 8m, 10m)
3. Kemiringan lereng tunggal (40°, 50°, 55⁰, 60° dan 70°)
4. Rekapitulasi hasil simulasi analisis kemandapan lereng tunggal, terdapat pada table di bawah ini.

Tabel 3. Rekapitulasi Analisis Kemandapan Lereng Tunggal

Jenis Batuan	Kemiringan lereng tunggal	Tinggi Lereng Tunggal		
		6 m	8 m	10 m
Sandstone	70°	2,596	2,084	1,562
	60°	2,872	2,204	1,783
	55 ⁰	3,041	2,362	1,808
	50°	3,100	2,412	1,963
	40°	3,292	2,568	2,128
Mudstone	70°	1,805	1,448	1,075
	60°	2,008	1,538	1,242
	55 ⁰	2,099	1,609	1,315
	50°	2,176	1,691	1,376
	40°	2,317	1,808	1,499

D. Kesimpulan

Dari Studi Geoteknik yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Geometri lereng keseluruhan (*overall slope*) yang di-rekomendasikan adalah:
 - Tinggi lereng keseluruhan = 106 m, kemiringan keseluruhan = 30°
 - Tinggi lereng keseluruhan = 90 m, kemiringan keseluruhan = 35°
2. Geometri lereng *high-wall* bagian atas (*top soil*) adalah :
 - Tinggi jenjang = 5 m

- Lebar jenjang = 5 m
 - Kemiringan jenjang = 30^0
 - Tinggi keseluruhan = 20 m
 - kemiringan keseluruhan = 22^0
3. Geometri lereng *low-wall* bagian atas adalah :
- Tinggi jenjang = 5 m
 - Lebar jenjang = 6 m
 - Kemiringan jenjang = 30^0
 - Kemiringan keseluruhan = 18^0
4. Geometri lereng *waste dump* yang di-rekomendasikan adalah sebagai berikut:
- Tinggi jenjang = 5 m
 - Lebar jenjang = 5 m
 - Kemiringan jenjang = 45^0
 - Tinggi keseluruhan = 40 m
 - Kemiringan keseluruhan = 20^0
5. Rekomendasi geometri lereng tunggal (*single slope*) adalah sebagai berikut :
- Tinggi lereng tunggal (jenjang) = 10 m
 - Lebar jenjang (*berm*) = 6 m
 - Kemiringan lereng tunggal (jenjang) = 55^0
 - Lebar jenjang pengamanan (*safety berm*) = 22 meter (setiap 5 jenjang)

E. Saran

1. Melakukan *visual inspection* yang dilakukan secara berkala (harian, mingguan, dan bulanan) untuk mendekteksi adanya potensi-potensi longsoran dengan titik pengamatan pada permukaan lereng dan pemantauan di bawah permukaan. Sehingga dapat diketahui apabila ada pergerakan lereng yang sangat ekstreme yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja dan kerugian secara materi dan moril.
2. Melakukan pemantauan menyeluruh dan berkala terhadap kegiatan *coal getting* di area pit agar dalam proses pengambilan material oleh operator excavator tidak mengganggu kemiringan (*slope*) lereng, sehingga kemiringan lereng tidak berubah dan tetap sesuai dengan rekomendasi sudut optimal lereng.
3. Jika level air tanah di dalam lereng cukup tinggi mendekati jenuh (*fully saturated*), disarankan untuk membuat sistem penirisan dengan *horizontal drainhole* di muka lereng. Namun perlu dicatat, bahwa air yang keluar dari *horizontal drainhole* harus diupayakan agar masuk ke dalam saluran sistem penanggulangan air di permukaan lereng dan dapat mengalir bersama air limpasan menuju *sump* pada lantai tambang, atau melakukan pemasangan pompa air tanah sehingga air muka tanah yang terkandung dalam lereng tersebut tidak terlalu membebani lereng secara berlebihan yang berpotensi menyebabkan kelongsoran yang diakibatkan dari melemahnya massa batuan.

Daftar Pustaka

Anonym, Phase2 ver.6 Software, Rockscience.

- Anonym, Slide ver.6 Software, Rockscience.
- Bieniawski, Z. T., 1979, *Engineering Rock Mass Classification*, A WileyInterscience Publication, United States Of America.
- Bishop, A.W., 1955, *The Use the Slip Circle in the Stability Analisis of Slopes*, Geotechnique, Vol 5, No. 1, hal 7-17.
- Hoek, E. & J. W. Bray., 1981, *Rock Slope Engineering*, Revised Third Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London.
- Surata, Gde., 1997, *Pit and Underground Design*, Direktorat Jendral Pertambangan Umum Pusat Pengembangan Tenaga Pertambangan, Bandung.
- Maryanto.,2008, *Geoteknika Tambang*, Diktat Kuliah, Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung, Bandung.
- Prodjosumarto, Partanto dan Zaenal., 2007, *Buku Ajar Tambang Terbuka*, Universitas Islam Bandung, Bandung.
- Prodjosumarto, Partanto., 2000, *Tambang Terbuka*. Departemen Pertambang Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sulistijo, Budi., 2002, *Analisis Kemantapan Lereng Batuan*, Khursus Singkat, Geoteknik Terapan Untuk Tambang Terbuka, departemen Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- Yuliadi., 2006, *Geoteknik Tambang*, Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung, Bandung.