

Kajian Kestabilan Lereng RKAP 2018 Lokasi Penambangan Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan.

Muhammad Irawan^{1,*}, Bambang Heriyadi¹, and Adree Octova¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

m.irawan@gmail.com

bambang_heriyadi@yahoo.com

adree.octova@gmail.com

Abstract. This research was carried out at MTBU pit mining PT. Bukit Asam Tbk. With the occurrence of landslides on the cross section of Y-Y 'low wall elevation +74 to +62 in the pit area of MTBU PT. Bukit Asam Tbk, it is necessary to do geotechnical studies so that the mining plan can be supported with accurate data, especially in terms of slope stability. To get the optimum geometry recommendations, as well as safety factors (FK) that are in accordance with the plan, we get the initial data Silty Claystone: Content weight (γ) = 22,19 kN / m³, cohesion (c') = 28,14 kN / m² and inner sliding angle (ϕ') = 33,30 °. Silty Sandstone: content weight (γ) = 20.36 kN / m³, cohesion (c') = 26,38 kN / m² and inner sliding angle (ϕ') = 25,50 °. Sandy Silt: Contents weight (γ) = 19.67 kN / m³, cohesion (c') = 32,16 kN / m² and inner sliding angle (ϕ') = 39,11 °. Recommendation slope geometry: 1. Morgenstren-Price method based on the design results using the Geostudio Slope / W 2007 program, for each section both single slope and overall slope safety factor $\geq 1,25$ which means that it is stable or safe. 2. The Hoek and Bray method, 1981 carried out an analysis of the back slope of the single slope high wall elevation +74 to +62 when a landslide occurred using material input properties. After analyzing the slope stability with the analysis parameters behind Hoek & Bray (FK = 0,99), the value (FK = 0.919) is obtained. In saturated conditions, handling is needed to make the slope more gentle where the slope angle is 23,77° with the same height 12 m, so that the value (FK = 1,288) is obtained.

Keywords: Slope Stability, Back Analysis, Safety Factor, Slope Geometri, Input Properties.

1. Pendahuluan

PT. Bukit Asam Tbk sebagai salah satu perusahaan tambang Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dibawah Departemen Pertambangan dan Energi merupakan salah satu perusahaan industri pertambangan batubara Indonesia. Perusahaan ini berlokasi di Tanjung Enim, Kabupaten Muara Enim, Provinsi Sumatera Selatan dengan jarak kurang lebih 200 km Barat Daya dari pusat kota Palembang. PT. Bukit Asam Tbk memiliki tiga lokasi penambangan yaitu lokasi tambang Air Laya, tambang Banko Barat dan tambang Muara Tiga Besar. Lokasi Muara Tiga Besar dibagi menjadi 2 *pit* penambangan yaitu *pit* MTBU dan MTBS.

Sistem penambangan yang digunakan PT. Bukit Asam Tbk pada lokasi Muara Tiga Besar Utara dilakukan dengan sistem penambangan terbuka (*open pit*). Sistem ini dilakukan dengan metode konvensional yang merupakan kombinasi antara alat gali-muat dan alat angkut, sehingga mengakibatkan berubahnya bentang alam. Salah satu perubahan bentang alam yang terjadi

salah satunya adalah longsoran lereng. Longsoran lereng ini dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya tingginya curah hujan, getaran yang diakibatkan proses peledakan (*blasting*), getaran yang disebabkan oleh kegiatan alat berat di sekitar lereng, dan tidak sesuainya parameter geometri lereng.

Lokasi penambangan Muara Tiga Besar Utara merupakan bagian dari dinding lereng pada *pit* yang mana pada *bench* daerah tersebut terdapat genangan air yang dapat menyebabkan tingkat pelapukan batuan yang tinggi. Adanya air tanah yang keluar pada dinding lereng yang mana akan mempercepat proses pelapukan dan menambah bobot isi material. Air tanah yang berfungsi sebagai pelarut dan media transportasi material pengisi pada rekahan batuan akan mempercepat proses pelapukan batuan dan menambah bobot isi material. Pada saat curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan material jenuh air dan bobot isi material akan bertambah, oleh sebab itu di area *pit* Muara Tiga Besar Utara rawan terjadinya longsor.

Lokasi penambangan Muara Tiga Besar Utara merupakan bagian dari dinding lereng pada *pit* yang mana pada *bench* daerah tersebut terdapat genangan air yang dapat menyebabkan tingkat pelapukan batuan yang tinggi. Adanya air tanah yang keluar pada dinding lereng yang mana akan mempercepat proses pelapukan dan menambah bobot isi material. Air tanah yang berfungsi sebagai pelarut dan media transportasi material pengisi pada rekahan batuan akan mempercepat proses pelapukan batuan dan menambah bobot isi material. Pada saat curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan material jenuh air dan bobot isi material akan bertambah, oleh sebab itu di area *pit* Muara Tiga Besar Utara rawan terjadinya longsor.

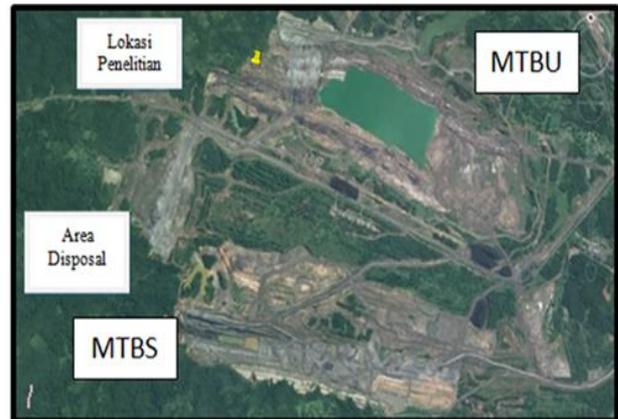
Sehubungan dengan kelongsoran yang terjadi pada penampang Y-Y' *high wall* elevasi +74 ke +62 di area *pit* Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk, maka perlu dilakukan kajian geoteknik agar rencana penambangan dapat didukung dengan data yang akurat terutama dalam hal kemandapan lereng. Kelongsoran pada lereng tambang dapat menyebabkan banyak kerugian yaitu terganggunya jalan angkut utama sehingga menghambat pengangkutan tanah penutup dan batubara, rusaknya alat operasional, kematian, hingga penutupan tambang. Oleh karena itu diperlukan kajian kestabilan lereng pada penambangan di lokasi Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam (Persero) Tbk mengenai keterlibatan faktor penyebab longsor untuk memperoleh desain lereng yang stabil sesuai dengan faktor keamanan yang ditetapkan perusahaan ($FK \geq 1,25$), sehingga kegiatan operasional penambangan dapat berjalan dengan aman.

Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *Morgenstern and Price* dan dilakukan analisis balik dengan metode grafik *Hoek and Bray*, 1981. Dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya dan momen. Kelebihan metode ini dapat digunakan untuk semua bentuk bidang runtuh dan telah memenuhi semua kondisi kesetimbangan batas^[1,2,3].

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis ingin membahas lebih lanjut dan menjadikannya sebuah kajian penelitian dengan judul "Kajian Kestabilan Lereng RKAP 2018 Lokasi Penambangan Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan."

2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak di *pit* Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, pada koordinat $01^{\circ} 28' 35''$ LS / $106^{\circ} 33' 45''$ BT yang terletak pada elevasi 35 mdpl sampai dengan 25 mdpl. Lereng yang akan dianalisis berlokasi pada *pit* Tambang Muara Tiga Besar Utara yaitu pada *section* Y-Y'. Geometri lereng *high wall* pada *section* Y-Y' yaitu panjang 550 m dan tinggi 39 m. *Low wall* pada *section* Y-Y' memiliki geometri panjang 430 m dan tinggi 27 m. Untuk lokasi penelitian dapat dilihat pada (gambar 30) di bawah ini.



Gambar 1. Lokasi penelitian Pit MTBU PT. Bukit Asam

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanggal 13 Agustus 2017–14 Oktober 2017. PT. Bukit Asam Tbk, berlokasi di daerah Tanjung Enim, Kecamatan Lawang Kidul, Kabupaten Muara Enim, Propinsi Sumatera Selatan. Jarak tempuh lewat jalan raya ± 200 kilometer dari kota Palembang atau ± 190 kilometer dengan kereta api ke arah Barat Daya. Untuk bisa sampai ke lokasi penelitian jika dimulai dari kota Palembang ditempuh dengan transportasi darat menuju ke kota Tanjung Enim, membutuhkan waktu tempuh selama 5-6 jam yang dapat dilihat peta lokasi PT. Bukit Asam Tbk UPTe (gambar 2) di bawah ini.



Gambar 2. Lokasi PT. Bukit Asam Tbk

3.1. Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif. Penelitian tipe kuantitatif dapat digunakan apabila data yang dikumpulkan berupa data kuantitatif atau jenis data lain yang dapat dikuantitaskan dan diolah menggunakan teknik statistik^[4].

Selain menggunakan metode penelitian kuantitatif, pada penelitian ini juga digunakan metode penelitian terapan. Penelitian terapan lebih menekankan pada penerapan ilmu, atau aplikasi ilmu, ataupun penggunaan ilmu ataupun untuk keperluan tertentu. Penelitian terapan merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian-penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dimulai dengan studi literatur yaitu mencari bahan-bahan pustaka yang dipakai untuk menghimpun data-data atau sumber-sumber yang berhubungan dengan topik yang diangkat dalam suatu penelitian.

Selanjutnya orientasi lapangan dengan melakukan peninjauan langsung ke lapangan dan untuk mengamati langsung kondisi daerah yang akan dilakukan penelitian serta dapat mengangkat permasalahan yang ada untuk dijadikan topik dalam suatu penelitian

Adapun data yang diambil selama kegiatan dilakukan yang berguna untuk penelitian yaitu:

3.2.1 Data primer

Data primer merupakan data yang diamati dan diambil seperti:

3.2.1.1 Geometri lereng

Cara pengambilan data geometri lereng dilakukan dengan menggunakan *GPS*, jadi selanjutnya data hasil titik koordinat *GPS* diolah menggunakan program *Geostudio Slope/W 2007*, dari pengolahan data menggunakan aplikasi didapat data ketinggian dan kemiringan lereng.

3.2.1.2 Bobot isi tanah dan bobot isi kering

Cara pengujian bobot isi tanah dan bobot isi kering. Siapkan timbangan elektronik, cincin untuk sampel uji, selanjutnya timbang berat cincin kosong, hitung berapa volume cincin sampel. Langkah selanjutnya sampel yang sudah kita bawa dari lapangan selanjutnya kita cetak kedalam cincin uji timbang berat cincin + sampel. Semua data yang kita dapatkan kita masukkan kedalam tabel yang telah kita siapkan sebelumnya, lakukan pengujian bobot isi sebanyak 3 kali untuk masing-masing sampel, agar bisa didapatkan perbandingan sehingga bisa diketahui angka bobot isi rata-rata nantinya. Data hasil pengujian bobot ini kemudian kita lakukan perhitungan untuk mendapatkan bobot isi kering masing-masing sampel.

3.2.1.3 Kadar air

Cara melakukan pengujian kadar air adalah pertama-tama kita siapkan timbangan elektronik, beberapa cawan kosong yang sudah kita bersihkan, dan oven. Timbang berapa berat cawan kosong selanjutnya timbang berat cawan kosong + tanah sampel lalu kita masukkan cawan + sampel kedalam oven. Lalu kita keringkan tunggu sampai 5 jam selanjutnya kita timbang berat cawan + sampel, lalu kita keringkan lagi sampai 2 jam lalu kita timbang berat cawan + sampel, masukkan lagi cawan + sampel tunggu 2 jam lagi lalu kita timbang berapa berat cawan + sampel, selanjutnya kita keringkan lagi cawan + sampel selama 2 jam timbang lagi. Setelah kita merasa

yakin kalau sampel benar-benar kering berdasarkan 3 kali pengeringan ulang dan hasilnya sama maka sampel sudah dinyatakan kering. Lakukan pengujian kadar air untuk masing-masing sampel tanah yang kita bawa dari lapangan.

3.1.2.4 Kohesi dan sudut geser dalam

Cara pengujiannya siapkan alat pengujian kuat geser, lalu cetak sampel tanah kedalam cincin kuat geser lalu padatkan, selanjutnya masukkan cincin + sampel kedalam alat kuat geser, kunci lah alat kuat geser tersebut. Selanjutnya masukan air secara perlahan pada wadah alat kuat geser hingga penuh, kasih pemberat berupa piringan baja seberat 3 kg. Lalu putar alat kuat geser dan lihat jarum pada pembaca alat kuat geser sampai berapa dia berhenti. Selanjutnya catat pada angka berapa jarumnya berhenti. Lakukan pengujian tersebut sebanyak 3 kali dengan penambahan beban sebanyak 3 kg, 6 kg dan 9 kg lalu catat lah hasil pengujian tersebut yang dapat dilihat contoh format tabel di bawah ini.

3.2.2 Data sekunder

Data sekunder merupakan data-data yang diperoleh dari PT. Bukit Asam untuk mendukung data-data penelitian, seperti:

1. Data curah hujan
2. Stratigrafi dan lithologi
3. Peta lokasi kesampaian daerah
4. Desain rencana *pit* penambangan
5. Peta Penampang (*Cross section*)
6. Data nilai konstanta kegempaan daerah

3.3. Teknik Pengolahan Data

Adapun desain penelitian atau tahapan pekerjaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.3.1 Pengolahan data

Setelah data didapatkan maka selanjutnya adalah pengelompokan dan pengolahan data, dikarenakan penelitian terdiri dari beberapa variabel, maka data harus dikelompokkan sesuai dengan tahapan pengerjaannya.

Adapun yang dilakukan pada tahapan ini adalah :

1. Pengujian penentuan bobot isi kering dan bobot isi jenuh.
2. Pengujian kohesi dan sudut geser dalam.
3. Desain rancangan lereng *pit*.

3.3.2 Analisis Pengolahan Data

Setelah semua data yang ada diolah selanjutnya dilakukan analisis data yang sudah diolah. Setelah analisis selesai dilakukan dan sudah menghasilkan beberapa alternatif, kemudian dilakukan pemilihan alternatif terbaik, yang kemudian akan menjadi rekomendasi kepada perusahaan.

pengolahan data yang diperlukan meliputi:

1. Membuat model lereng untuk longsor busur (*circular failure*).
2. Menghitung faktor keamanan lereng dengan bantuan Program *Geostudio Slope/W* 2007. Perhitungan faktor keamanan (FK) longsor *circular* dengan metode *Morgenstren-Price*.
3. Melakukan analisis balik kestabilan lereng dengan metode grafik *Hoek and Bray*, 1981.

3.3.3 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diperoleh dari hasil pengamatan lapangan, perhitungan, dan analisa data. Kemudian dihasilkan suatu rekomendasi yang bermanfaat bagi perusahaan. Serta saran-saran agar apa yang direkomendasikan bisa dilaksanakan oleh perusahaan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengeboran dan pengambilan sampel

Pengeboran dilakukan menggunakan alat *hand bor* untuk mendapatkan data mengenai tanah, jenisnya, sifat-sifat, dan keadaan tanah itu sendiri serta untuk memperoleh sampel demi memenuhi keperluan pengujian di laboratorium. Aktifitas pengeboran diperlihatkan pada (gambar 3) di bawah ini.



Gambar 3. Pengeboran menggunakan *hand bor* PT. Bukit Asam (Persero) Tbk

4.2 Pengujian Laboratorium

Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah PT. Bukit Asam Tbk. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian sifat fisik dan mekanika material di lapangan sebagai berikut:

4.2.1 Pengujian Berat Isi / Bobot Isi

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan berat isi/bobot isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya (gram/cm³) [5,6,7,8].

4.2.1.1 Pengujian Bobot Isi Sampel Silty Sandstone

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3 \quad (1)$$

Keterangan:

W₂ = timbang cinicin + tanah

W₁ = cincin dalam keadaan bersih

V = volume

Perhitungan untuk sampel pertama

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{W_2 - W_1}{V} \text{ gram/cm}^3$$

$$\text{Berat isi } (\gamma) = \frac{323,65 - 104,30}{106,199}$$

$$\gamma = 2,065 \text{ gram/cm}^3$$

Berat isi kering (γ_d):

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+w)} \text{ gram/cm}^3 \quad (2)$$

$$\gamma_d = \frac{2,065}{(1+0,17)}$$

$$\gamma_d = 1,764 \text{ gram/cm}^3$$

Penulis melakukan pengolahan data menggunakan aplikasi *Geostudio Slope/W* 2007, pengolahan data dipengaruhi oleh percepatan gravitasi (9,807 m/s²). Sehingga data masukan nantinya berupa satuan kN/m³, berikut konversi dari gr/cm³ menjadi kN/m³.

$$\begin{aligned} \gamma &= 2,077 \text{ gr/cm}^3 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 2,077 \times 10^{-3} \text{ Kg/10}^{-6} \text{ m}^3 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 2,077 \times 10^{-3} \text{ Kg m/s}^2 \times 9,807/10^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 20,36 \times 10^{-3} \text{ N/10}^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 20,36 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ \gamma &= 20,36 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Jadi rata-rata berat isi kering

$$(\gamma_d): \frac{\gamma_d 1 + \gamma_d 2 + \gamma_d 3}{3} \quad (3)$$

$$\text{Berat isi kering rata-rata } (\gamma_d) = \frac{1,764 + 1,802 + 1,760}{3}$$

$$= 1,775 \text{ gr/cm}^3$$

Penulis melakukan pengolahan data menggunakan aplikasi *Geostudio Slope/W* 2007, pengolahan data dipengaruhi oleh percepatan gravitasi (9,807 m/s²). Sehingga data masukan nantinya berupa satuan kN/m³, berikut konversi dari gr/cm³ menjadi kN/m³.

$$\begin{aligned} \gamma_d &= 1,775 \text{ gr/cm}^3 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 1,775 \times 10^{-3} \text{ Kg/10}^{-6} \text{ m}^3 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 1,775 \times 10^{-3} \text{ Kg m/s}^2 \times 9,807/10^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 17,40 \times 10^{-3} \text{ N/10}^{-6} \text{ m}^3 \\ &= 17,40 \times 10^3 \text{ N/m}^3 \\ \gamma_d &= 17,40 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 1. Hasil Uji Berat Isi *Silty Sandstone*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin ,t, (cm)	4,78	4,78	4,78
Diameter Cincin ,d, (cm)	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong, W ₁ (gram)	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah W ₂ (gram)	323,65	324,46	326,79
Volume Cincin t x 0,25 π d ² , (cm ³)	106,199	106,199	106,199
Berat isi (γ) = $\frac{W_2 - W_1}{V}$ gram/cm ³	2,065	2,073	2,095
Berat isi rata-rata (γ), (gram/cm ³)	2,077		
Berat Isi Kering, γ _d = $\frac{\gamma}{(1+\omega)}$ (gram/cm ³)	1,775		

4.2.1.2 Pengujian Bobot Isi Sampel Silty Claystone

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada *silty sandstone* maka didapat hasil uji berat isi *silty claystone* sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Uji Berat Isi *silty claystone*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin ,t, (cm)	4,78	4,78	4,78
Diameter Cincin ,d, (cm)	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong, W ₁ (gram)	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah W ₂ (gram)	343,75	344,57	345,76
Volume Cincin t x 0,25 π d ² , (cm ³)	106,199	106,199	106,199
Berat isi (γ) = $\frac{W_2 - W_1}{V}$ gram/cm ³	2,254	2,262	2,273
Berat isi rata-rata (γ), (gram/cm ³)	2,263		
Berat Isi Kering, γ _d = $\frac{\gamma}{(1+\omega)}$ (gram/cm ³)	1,875		

4.2.1.3 Pengujian Bobot Isi Sampel Sandy Silt

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada *silty sandstone* maka didapat hasil uji berat isi *sandy silt* sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Uji Berat Isi *sandy silt*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cincin	1	1	1
Tebal Cincin ,t, (cm)	4,78	4,78	4,78
Diameter Cincin ,d, (cm)	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong, W ₁ (gram)	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah W ₂ (gram)	316,08	318,36	317,79
Volume Cincin t x 0,25 π d ² , (cm ³)	106,199	106,199	106,199
Berat isi (γ) = $\frac{W_2 - W_1}{V}$ gram/cm ³	1,994	2,015	2,010
Berat isi rata-rata (γ), (gram/cm ³)	2,006		
Berat Isi Kering, γ _d = $\frac{\gamma}{(1+\omega)}$ (gram/cm ³)	1,439		

4.2.2 Uji penentuan kadar air

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berapa besar kadar air yang terkandung di dalam tanah.

4.2.2.1 Pengujian Kadar Air Sampel Silty Sandstone

$$\omega = \frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana:

Ww = berat tanah basah + cawan

Dw = berat tanah kering + cawan

Tw = berat cawan

ω = kadar air dinyatakan dalam persen

Tabel 4. Hasil Uji kadar air *Silty Sandstone*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	1	2	3
Berat cawan (Tw) (gram)	8,73	8,67	8,53
Berat cawan + tanah basah (Ww) (gram)	28,93	30,26	27,49
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (Dw) (gram)	25,96	27,39	24,34
Berat Air (Ww-Dw) (gram)	2,97	2,87	3,15
Berat tanah kering (Dw-Tw) (gram)	17,23	18,72	15,81
Kadar air ω = $\frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$	17	15	19
Kadar air rata-rata (ω), %	17		

4.2.2.2 Pengujian Kadar Air Sampel silty Claystone

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada *silty sandstone* maka didapat hasil uji kadar air *silty claystone* sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Uji Berat Isi *silty claystone*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	4	5	6
Berat cawan (Tw) (gram)	8,61	8,70	8,56
Berat cawan + tanah basah (Ww) (gram)	30,69	28,10	25,29
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (Dw) (gram)	26,86	24,73	22,36
Berat Air (Ww-Dw) (gram)	3,83	3,37	2,93
Berat tanah kering (Dw-Tw) (gram)	18,25	15,67	13,69
Kadar air ω = $\frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$	20	21	21
Kadar air rata-rata (ω), %	20,66		

4.2.2.3 Pengujian Kadar Air Sampel Sandy Silt

Dengan melakukan perhitungan yang sama pada *silty sandstone* maka didapat hasil uji kadar air *sandy silt* sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Uji Berat Isi *sandy silt*

Contoh Uji	I	II	III
Nomor Cawan	7	8	9
Berat cawan (Tw) (gram)	8,75	8,80	8,57
Berat cawan + tanah basah (Ww) (gram)	25,72	25,09	27,81
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (Dw) (gram)	20,84	20,44	22,35
Berat Air (Ww-Dw) (gram)	4,88	4,65	5,46
Berat tanah kering (Dw-Tw) (gram)	12,09	11,64	13,78
Kadar air ω = $\frac{Ww - Dw}{Dw - Tw} \times 100\%$	40	39	39
Kadar air rata-rata (ω), %	39,33		

4.2.3 Pengujian kuat geser langsung

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (φ). Berikut hasil pengujian geser langsung. Diameter : 6,35 cm, Luas : 31.65 cm².



Gambar 4. Pengujian kuat geser langsung

4.2.3.1 Pengujian kuat geser langsung silty sandstone

Tabel 7. Hasil Uji Geser Langsung Silty Sandstone

No	beban normal (kg)	tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	gaya geser (s) (kg)	tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	9,6	0,303
2	6	0,18	11,8	0,372
3	9	0,28	12,5	0,394

Diameter cetakan = 6,35 cm (diameter dalam cincin "d")

Luas = $\frac{1}{4} \Pi d^2$

Luas = $\frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,35^2 = 31,653 \text{ cm}^2$

S = gaya geser

Tegangan geser (τ) = $\frac{S}{A}$ (5)

Tegangan geser (τ):

a. $\frac{9,6}{31,65} = 0,303 \text{ kg/cm}^2$

b. $\frac{11,8}{31,65} = 0,372 \text{ kg/cm}^2$

c. $\frac{12,5}{31,65} = 0,394 \text{ kg/cm}^2$

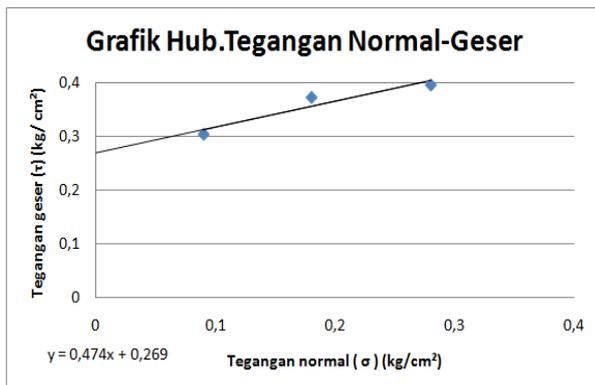
Tegangan normal (σ) = $\frac{N}{A}$ (6)

Tegangan normal:

a. $\frac{3}{31,653} = 0,09 \text{ kg/cm}^2$

b. $\frac{6}{31,653} = 0,18 \text{ kg/cm}^2$

c. $\frac{9}{31,653} = 0,28 \text{ kg/cm}^2$

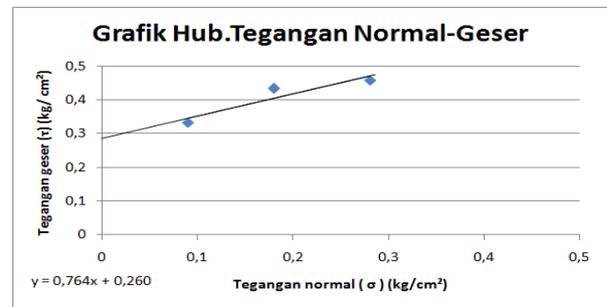


Gambar 5. Grafik uji geser langsung material Silty Sandstone

4.2.3.2 Pengujian kuat geser langsung Silty Claystone

Tabel 8. Hasil Uji Geser Langsung Silty Claystone

No	beban normal (kg)	tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	gaya geser (s) (kg)	tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	10,5	0,331
2	6	0,18	13,7	0,432
3	9	0,28	14,5	0,458

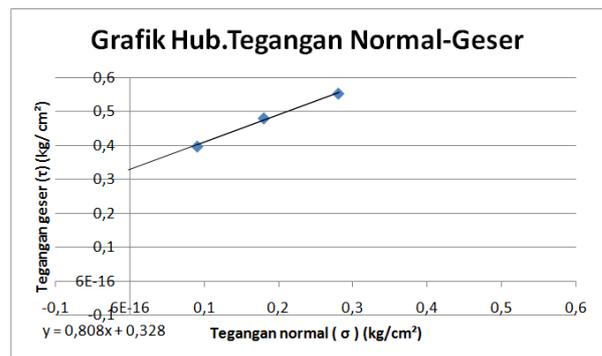


Gambar 6. Grafik uji geser langsung material Silty Claystone

4.2.3.3 Pengujian kuat geser langsung Sandy Silt

Tabel 9. Hasil Uji Geser Langsung Sandy Silt

No	beban normal (kg)	tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	gaya geser (s) (kg)	tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	12,6	0,398
2	6	0,18	15,2	0,480
3	9	0,28	17,5	0,552



Gambar 7. Grafik uji geser langsung material Sandy Silt

4.3 Geometri lereng

Penampang Y-Y' memiliki 6 lereng *single slope* pada *low wall* dan 3 lereng *single slope* pada *high wall* dan masing-masing 1 lereng *overall slope* pada *low wall* dan *high wall*. Geometri lereng *low wall* pada *section Y-Y'* yaitu panjang 550 m dan tinggi 39 m. *high wall* pada *section Y-Y'* memiliki geometri panjang 425 m dan tinggi 27 m.

Berikut data geometri lereng yang terdapat pada penampang Y-Y' *pit* Tambang Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk.

Tabel 10. Data Geometri Lereng Penampang Y-Y'

Penampang	Lokasi	Lapisan Material	Dimensi Geometri Lereng				
			Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)
			Top (m)	Base (m)			
Y - Y'	Lowwall	Single Slope	74	62	12	33	18,8
			62	52	10	34	14,8
			52	44	8	34	11,8
			44	35	9	16	31,8
	Overall	74	35	39	16	138	
	Highwall	Single Slope	62	53	9	33	13,8
			53	44	9	33	14
			44	35	9	33	14
Overall			62	35	27	21	71,5

4.4 Analisis Faktor Keamanan Lereng Aktual

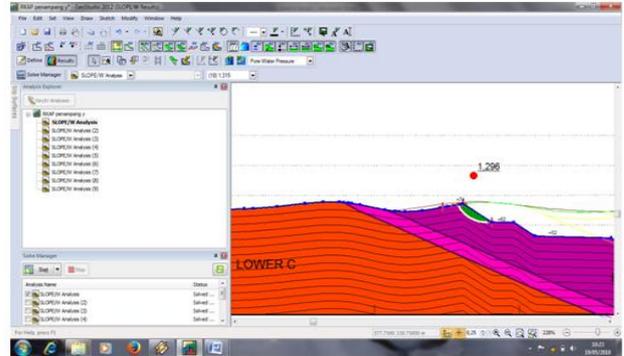
Berdasarkan analisis kestabilan lereng aktual pada desain penampang Y-Y' *pit* Tambang Muara Tiga Besar Utara menggunakan *Software Geostudio Slope/W 2007* dengan Metode *Morgenstren and Price* maka didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng. Nilai faktor keamanan yang tertinggi terdapat pada *Single Slope High Wall* di elevasi +44 ke +35 yaitu 1,800. Nilai faktor keamanan yang terendah terdapat pada *Single Slope Low Wall* di elevasi +74 ke +62 yaitu 1,296.

Tabel 11. Nilai Faktor Keamanan Penampang Y-Y'

Penampang	Lokasi	Lapisan Material	Dimensi Geometri Lereng					Faktor Keamanan (FK)
			Elevasi		Tinggi Lereng (m)	Sudut Lereng (°)	Lebar Berm (m)	
			Top (m)	Base (m)				
Y - Y'	Lowwall	Single Slope	74	62	12	33	18,8	1,296
			62	52	10	34	14,8	1,357
			52	44	8	34	11,8	1,720
			44	35	9	16	31,8	1,359
	Overall	74	35	39	16	138	1,542	
	Highwall	Single Slope	62	53	9	33	13,8	1,776
			53	44	9	33	14	1,780
			44	35	9	33	14	1,800
Overall			62	35	27	21	71,5	1,564

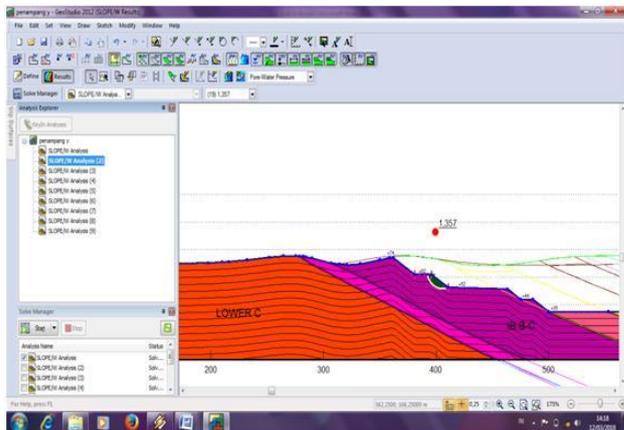
Berdasarkan data parameter analisis pada *pit* Tambang Muara Tiga Besar Utara penampang Y-Y', maka dapat dilihat hasil nilai faktor keamanan aktual yang diolah dengan menggunakan program *Geostudio Slope/W 2007* pada gambar berikut:

Pada *single slope low wall* pada elevasi +74 ke +62 didapatkan nilai FK = 1,296 yang artinya lereng aman.



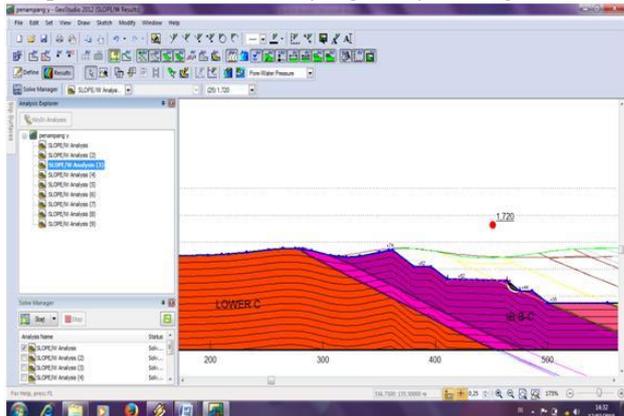
Gambar 8. Nilai FK Single Slope Low Wall Elevasi +74 ke +62

Pada *single slope Low wall* pada elevasi +62 ke +52 didapatkan nilai FK = 1,357 yang artinya lereng aman.



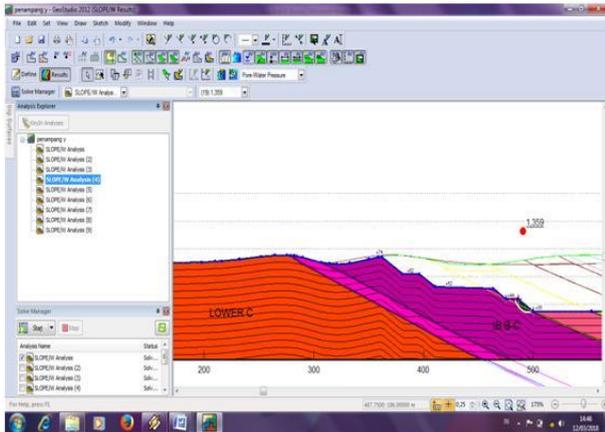
Gambar 9. Nilai FK Single Slope Low Wall Elevasi +62 ke +52

Pada *single slope Low wall* pada elevasi +52 ke +44 didapatkan nilai FK = 1,720 yang artinya lereng aman.



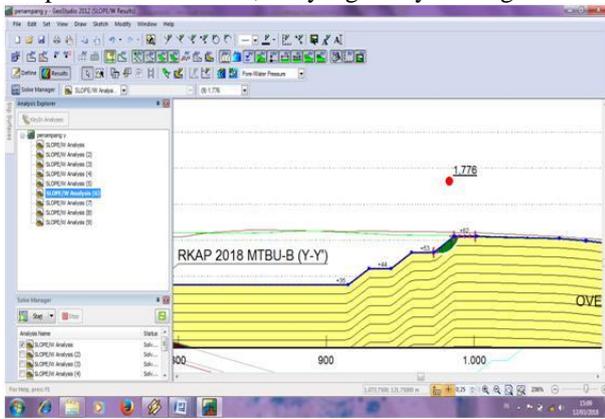
Gambar 10. Nilai FK Single Slope Low Wall Elevasi +52 ke +44

Pada *single slope Low wall* pada elevasi +44 ke +35 didapatkan nilai FK = 1,359 yang artinya lereng aman.



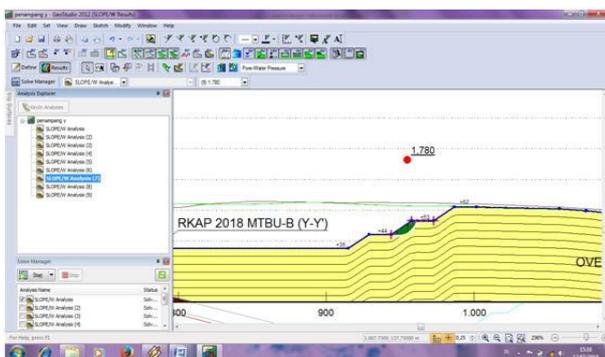
Gambar 11. Nilai FK Single Slope Low Wall Elevasi +44 ke +35

Pada *single slope high wall* pada elevasi +62 ke +53 didapatkan nilai FK = 1,776 yang artinya lereng aman



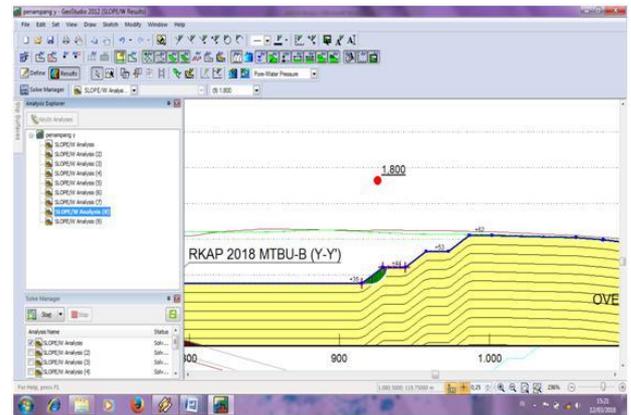
Gambar 12. Nilai FK Single Slope High Wall Elevasi +62 ke +53

Pada *single slope high wall* pada elevasi +53 ke +44 didapatkan nilai FK = 1,780 yang artinya lereng aman



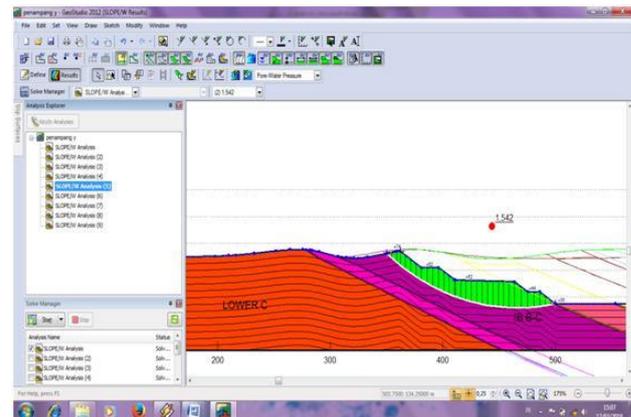
Gambar 13. Nilai FK Single Slope High Wall Elevasi +53 ke +44

Pada *single slope high wall* pada elevasi +44 ke +35 didapatkan nilai FK = 1,800 yang artinya lereng aman.



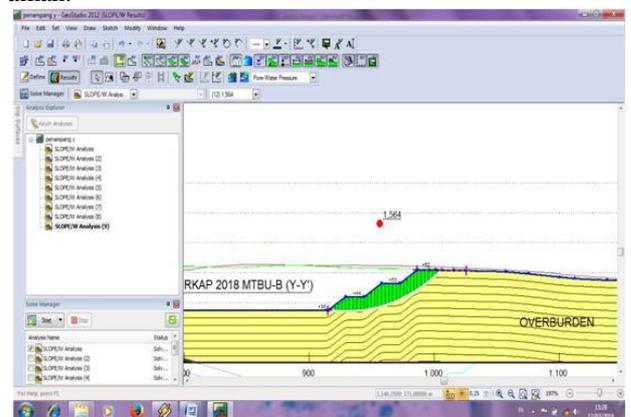
Gambar 14. Nilai FK Single Slope High Wall Elevasi +44 ke +35

Pada *overall slope Low wall* pada elevasi +74 ke +35 didapatkan nilai FK = 1,542 yang artinya lereng aman.



Gambar 15. Nilai FK Overall Slope Low Wall Elevasi +74 ke +35

Pada *overall slope High wall* pada elevasi +62 ke +35 didapatkan nilai FK = 1,564 yang artinya lereng aman.



Gambar 16. Nilai FK Overall Slope High Wall Elevasi +62 ke +35

4.5 Analisis Balik (*Back Analysis*)

Analisis balik (*back analysis*) dilakukan dengan metode Hoek & Bray. Analisis metode grafik Hoek & Bray ini mengasumsikan jenis material lereng tunggal homogen dengan data *input* berdasarkan parameter *properties*

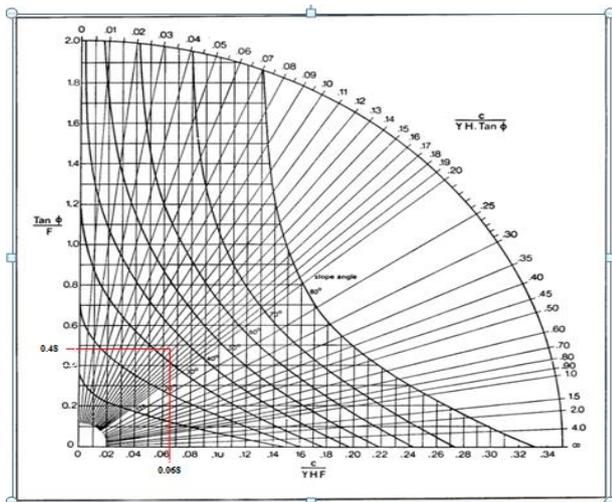
material (kohesi dan sudut geser dalam) pada lereng yang longsor^[9,10]. Dikarenakan lereng yang longsor adalah *single slope low wall* elevasi +74 ke +62, maka lereng tersebut yang akan dilakukan analisis balik. Parameter *properties material* untuk *single slope low wall* elevasi+74 ke +62 adalah *silty sandstone* yang merupakan *interburden B-C*. Material ini mempunyai nilai kohesi 26.38 kPa dan sudut geser dalam 25.50° dengan ketebalan lithologi paling tebal diantara material lain. Kohesi dan sudut geser dalam merupakan parameter *properties material* yang sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng

4.5.1 Limit Kohesi (FK = 0,99)

Untuk menentukan limit kohesi pada *single slope low wall* elevasi +74 ke +62 maka dibutuhkan nilai *input* dari rancangan awal lereng tunggal yaitu tinggi lereng (H) = 12 meter, sudut lereng 33°, bobot isi (γ) = 20,36 kN/m³, dan sudut geser dalam (ϕ) = 25,50°. Pembahasan limit kohesi adalah sebagai berikut^[11,12]:

$$\frac{\tan \phi}{FS} \rightarrow \frac{\tan 25,50}{0,99} = 0,48$$

Nilai $\frac{\tan \phi}{FS}$ diperoleh 0,48, berdasarkan nilai tersebut dicocokkan kedalam diagram (*chart 5*) dapat dilihat pada gambar 46 sebagai berikut:



Gambar 17. Limit kohesi pada *chart 5* metode Hoek & Bray

Dari gambar 46 diketahui nilai $\frac{C}{\gamma.H.FS}$ adalah sebagai berikut:

$$\frac{C}{\gamma.H.FS} = 0,068$$

$$\frac{20,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 12 \text{ m} \times 0,99}{C} = 0,068$$

$$C = 20,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 12 \text{ m} \times 0,99 \times 0,068$$

$$\text{Kohesi} = 16,44 \text{ kN/m}^2$$

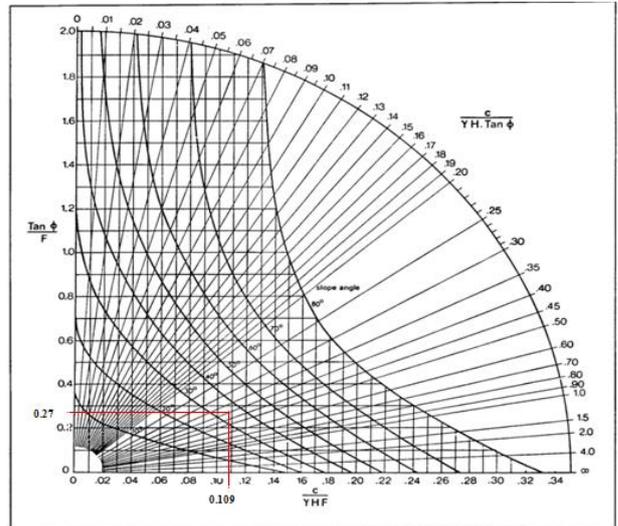
4.5.2 Limit Kohesi (FK = 0,99)

Untuk menentukan limit sudut geser dalam pada *single slope low wall* elevasi +74 ke +62 maka dibutuhkan nilai

input dari rancangan awal lereng tunggal yaitu tinggi lereng (H) = 12 meter, sudut lereng 33°, bobot isi (γ) = 20,36 kN/m³, dan kohesi (C) = 26,38 kPa. Pembahasan limit sudut geser dalam adalah sebagai berikut^[13,14]:

$$\frac{C}{\gamma.H.FS} \rightarrow \frac{26,38 \text{ kPa}}{20,36 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 12 \text{ m} \times 0,99} = 0,109$$

Nilai $\frac{C}{\gamma.H.FS}$ diperoleh 0,109, berdasarkan nilai tersebut dicocokkan kedalam diagram (*chart 5*) dapat dilihat pada gambar 47 berikut:



Gambar 18. Limit *phi* pada *chart 5* metode Hoek & Bray

Dari gambar 47, diketahui nilai $\frac{\tan \phi}{FS}$ adalah sebagai berikut:

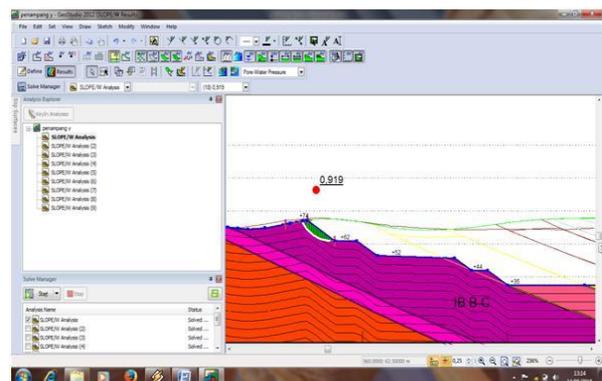
$$\frac{\tan \phi}{FS} = 0,27$$

$$\frac{\tan \phi}{0,99} = 0,27$$

$$\tan \phi = 0,267$$

Sudut geser dalam (ϕ') = 14,94°

Analisis balik lereng *single slope low wall* elevasi +74 ke +62 pada saat terjadi longsor menggunakan *input properties material* dari hasil metode grafik Hoek & Bray dapat dilihat pada gambar 48.

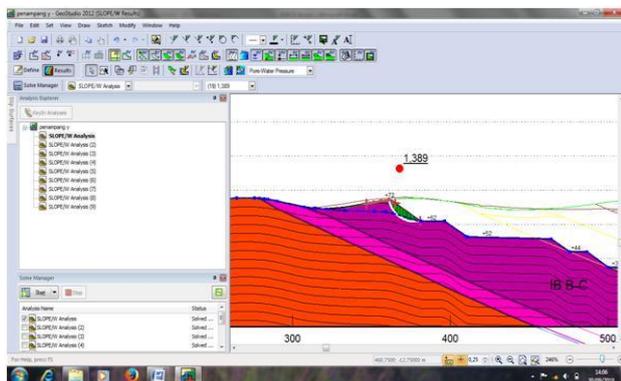


Gambar 19. Analisis balik Hoek & Bray *single slope*

Setelah dilakukan analisis kestabilan lereng dengan parameter analisis balik Hoek & Bray (FK = 0,99), didapatkan nilai FK = 0,919. Analisis ini dilakukan dengan metode Morgenstren and Price pada *software* Geostudio Slope/W 2007. Perbedaan nilai FK ini dikarenakan metode Hoek & Bray tidak memperhitungkan faktor kecepatan.

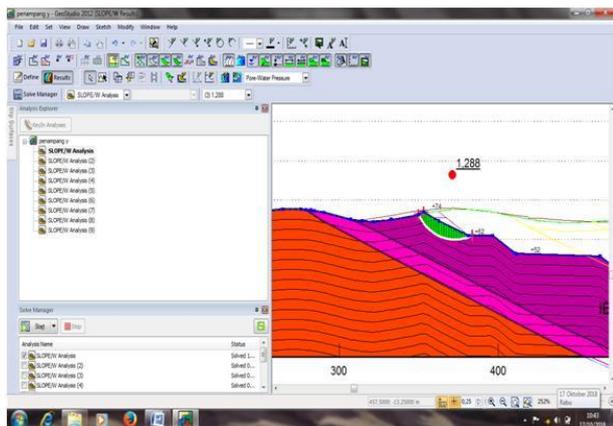
4.5.3 Penanganan Longsor Pada Penampang (Y-Y')

- Dalam keadaan lereng yang muka air tanah setengah jenuh didapatkan faktor keamanan 1,389 dalam kondisi aman sedangkan dalam keadaan jenuh didapatkan faktor keamanan 0,919 jadi diperlukannya penanganan karena dalam keadaan kondisi hujan lereng tersebut akan jenuh sehingga rawan longsor yang dapat dilihat pada gambar 49 di bawah ini.



Gambar 20. Penanganan Longsor Kondisi Setengah Jenuh *Single Slope Low Wall Pada Elevasi +74 ke +62*

- Pada lereng *single slope low wall* +74 dan +62 dengan ketinggian 12 meter dan sudut lereng 34° dalam kondisi jenuh diperlukan penanganan membuat pada lereng tersebut lebih landai dimana sudut lereng $23,77^\circ$ dengan ketinggian yang sama 12 m, sehingga diperoleh Faktor Keamanan (FK) 1,288 yang dikategorikan dalam kondisi aman dapat dilihat gambar di bawah ini.



Gambar 21. Penanganan Longsor Kondisi jenuh *single slope Low Wall Pada elevasi +74 ke +62*

5. Hasil dan Pembahasan

5.1 Kesimpulan

Sebagai hasil dari penelitian ini, dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

- Dari hasil pengujian sampel di laboratorium diperoleh data sifat fisik dan mekanik masing-masing material.
 - Pengujian sifat fisik sampel *silty Sandstone*, berat isi = 2,263 gram/cm³, berat isi kering = 1,875 gram/cm³, kadar air = 20,66 % sedangkan sifat mekanik sampel *silty Sandstone*, kohesi = 0,287 kg/cm² dan sudut geser dalam 33,30°.
 - Pengujian sifat fisik sampel *silty sandstone*, berat isi = 2,077 gram/cm³, berat isi kering = 1,775 gram/cm³, kadar air = 17 % sedangkan sifat mekanik sampel *silty sandstone*, kohesi = 0,269 kg/cm² dan sudut geser dalam 25,50°.
 - Pengujian sifat fisik sampel *sandy silt*, berat isi = 2,006 gram/cm³, berat isi kering = 1,439 gram/cm³, kadar air = 39,33 % sedangkan sifat mekanik sampel *sandy silt*, kohesi = 0,328 kg/cm² dan sudut geser dalam 39,11°.
- Berdasarkan analisis kestabilan lereng aktual pada desain penampang Y-Y' *pit* Muara Tiga Besar Utara PT. Bukit Asam Tbk. Dengan menggunakan *Software Geostudio Slope/W* 2007 dengan Metode *Morgenstren and Price* dan Metode *Hoek and Bray*, 1981 dilakukan percobaan analisis balik lereng *single slope high wall* elevasi +74 ke +62 pada saat terjadi longsor menggunakan *input properties material*.
- Material yang dianalisis balik adalah *interburden B-C (silty sandstone)* karena pada lapisan ini longsor terjadi. Nilai limit kohesi pada *overburden* adalah 16,44 kn/m². Nilai limit sudut geser dalam pada *interburden B-C* adalah 14,94°. Hasil analisis balik menunjukkan nilai FK *single slope* elevasi +74 ke +62 dalam keadaan lereng yang muka air tanah setengah jenuh didapatkan faktor keamanan 1,389 dalam kondisi aman sedangkan dalam keadaan jenuh didapatkan faktor keamanan 0,919 jadi diperlukannya penanganan karena dalam keadaan kondisi hujan lereng tersebut akan jenuh sehingga rawan longsor
- Pada lereng *single slope low wall* +74 dan +62 dengan ketinggian 12 meter dan sudut lereng 34° dalam kondisi jenuh diperlukan penanganan membuat pada lereng tersebut lebih landai dimana sudut lereng $23,77^\circ$ dengan ketinggian yang sama 12 m, sehingga diperoleh Faktor Keamanan (FK) 1,288 yang dikategorikan dalam kondisi aman Pada lereng *single slope low wall* +74 dan +62 dengan ketinggian 12 meter dan sudut lereng 34° dalam kondisi jenuh diperlukan penanganan membuat lereng tersebut lebih landai dimana sudut lereng $23,77^\circ$ dengan ketinggian yang sama 12 m, sehingga diperoleh

Faktor Keamanan (FK) 1,288 yang dikategorikan dalam kondisi aman.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis permasalahan yang ditemui, maka saran yang dapat penulis berikan sebagai berikut:

1. Dalam penerapannya, diperlukan evaluasi secara berkala terhadap rancangan geometri lereng yang direkomendasikan.
2. Pemantauan lereng yang terjadwal secara periodik perlu dilakukan untuk mengetahui besar perpindahan massa batuan akibat penggalian. Data hasil pemantauan merupakan data yang paling mewakili kondisi kekuatan massa batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gideon Allan Takwin, dkk. *Analisis kestabilan lereng dengan metode Morgenstren-Price (Studi kasus: Diamond Hill Citraland)*. Manado: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi. (2017).
- [2] Dafi Akhmedia Amin dkk. *Rancangan Geometri Lereng Area IV Pit D_51_1di PT. Singlurus Pratama Blok Sungai Merdeka Kutai Kartanegara Kalimantan Timur*. Yogyakarta: Teknik Pertambangan UPN. (2015).
- [3] Herian Sudarman Hemes dkk. *Penentuan Analisis Beban Material Filling Dalam Penentuan Tebal Sill Pillar Berdasarkan Nilai Faktor Keamanan (FK) Blok 4 Selatan Tambang Ciurug Gunung Pongkor Bogor, Jawa Barat*. Yogyakarta: Teknik Geologi UPN.
- [4] Sugiyono. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Jakarta: Alfabeta. (2017).
- [5] Edi Setiawan, Bambang Heriyadi¹, Adree Octova². *Rancangan geometri lereng berdasarkan analisis probabilitas Pit "S" Blok kananai 1 PT. Multi Tambang Jaya Utama*. Padang: Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang. (2011).
- [6] Hary, Christady Hardiyatmo. *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. (2002).
- [7] Irwandi, Arif. *TA 427-Tambang Terbuka. Buku Ajar Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral*, Bandung: Institut Teknologi Bandung. (2000).
- [8] Made Astawa Rai. *Geoteknik*. Bandung: Teknik Pertambangan Institut Teknologi Bandung. (1995).
- [9] Meilani Adriyati dkk. *Analisis stabilitas lereng menggunakan software geo studio 2007 dengan variasi kemiringan (studi kasus: bukit ganoman kab karanganyar)*. Surakarta: Teknik Pertambangan Universitas Sebelas Maret. (2017).
- [10] Refki Adinata. *Analisis kajian geoteknik kestabilan lereng pada lokasi PT. Indoasia Cemerlang site kintap kecamatan sungai cuka kabupaten tanah laut provinsi kalimantan selatan*. Padang: Jurusan Teknik Pertambangan Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang. (2017)
- [11] Maran, Gultom dkk. *Karakteristik kemantapan lereng tambang batubara*. Yogyakarta: STEM Akamigas Cepu. (2015).
- [12] Maran, Gultom dkk. *Kajian pengaruh ultimate pit slope terhadap kestabilan lereng tambang batubara PT. X*. Yogyakarta: STEM Akamigas Cepu. (2016).
- [13] Muhammad Azmi. *Analisis kestabilan lereng desain disposal xyz tahun 2016 di kabupaten tabalong, kalimantan selatan*. Banjarmasin: Prodi Studi Universitas Teknik Pertambangan Lambung Mangkurat. (2016).
- [14] Zulkifli Yadi. *Kestabilan geometri lereng bukaan tambang batubara di PT. Pasifik Global Utama kabupaten muara enim, sumatera selatan*. Bandung: Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Islam Bandung. (2014).