

Analisis Rancangan Lereng Disposasi Area Pit D Pada PT. Aman Toebilah Putra Kabupaten Lahat Provinsi Sumatera Selatan.

Al anhar Hardianto^{1*}, and Bambang Heriyadi^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Indonesia

*alanhardianto@gmail.com

**bambangh@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Aman Toebilah Putra is one of the coal mining companies located in Lahat Regency, South Sumatera. At this time PT. Aman Toebilah Putra is exploiting coal, and is doing mine out in mining area especially at Pit A location, and Pit C. The location to be used as overburden material shelter is Pit D, which will be examined the geometry design of the disposal slope. Slope stability analysis with Slide v.6.0 software and use Janbu and Bishop method (limit equilibrium) and Hoek and Bray Method. with geometric measurement data of the disposal slope in the field as well as laboratory test parameters namely weight of content, cohesion and internal shear angle. In addition, an evaluation was performed for the redesign of the geometry of the disposal slope and the design of the overburden material addition of the geometry of the disposal slope to obtain the value of the safety factor $> 1,25$ or in a safe and stable condition. Characteristics of lithologic mechanics in the disposal area of Pit D based on laboratory data obtained are known to have a weight value of 25.08 kN/m³ of soil content, cohesion: 15.9 kPa, and shear angle in 19,27°, so the design of the disposal area less safe and stable because the value of FK is less than $< 1,25$. After the evaluation of the geometry of the disposal slope, the final disposal geometry design value is obtained: on the elevator 1 single slope 35°, 5 meters high, 6 meters wide bench.

Keywords : Slope, geometry disposal, Janbu and Bishop method, Mining Software, Hoek and Bray Method.

1. Pendahuluan

PT. Aman Toebilah Putra berada di Kecamatan Merapi Barat (KW.20.02.LHT.2008) Provinsi Sumatera Selatan dengan izin lahan seluas 687 hektar, perusahaan ini bergerak pada usaha pertambangan batubara. Sebagai pemilik izin usaha pertambangan (IUP), PT. Aman Toebillah Putra bekerja sama dengan PT. Sinar Baru Wijaya Perkasa (SBWP) sebagai kontraktor atau pihak penambang dan juga bekerja sama sebagai pihak transportir.

PT. Aman Toebilah Putra melakukan penambangan dengan metode tambang terbuka (*strip mine*), penambangan dengan metode tambang terbuka dilakukan dengan pengupasan lapisan tanah penutup (*Overburden*), sehingga mengakibatkan berubahnya bentang alam. Kegiatan awal dari proses penambangan adalah pembersihan lahan dan pengupasan *overburden* (OB). Tujuan utama dari kegiatan tersebut adalah pemindahan lapisan tanah penutup (OB) dengan alat-alat mekanis agar dapat dilakukan proses penambangan batubara. *Overburden* yang telah dikupas kemudian dipindahkan ke tempat penimbunan yang biasa disebut *disposal*. *Disposal* merupakan daerah pada suatu operasi tambang terbuka yang digunakan sebagai tempat membuang material kadar rendah dan atau material bukan bijih. Material tersebut

harus digali dari pit agar dapat memperoleh bijih/material kadar tinggi.

Pit "D" merupakan salah satu rencana penutupan pit penambangan yang terletak pada sisi utara area penambangan. Batuan pada plan pit "D" didominasi oleh batuan napal putih dan tanah merah (*topsoil*), dimana karakteristik batuan turut dipengaruhi oleh cuaca dan air hujan sehingga material menjadi lunak pada saat tersingkap atau pada saat dimulainya proses penambangan.

Untuk mendukung rencana penutupan pit "D", sebagai rancangan *disposal* perlu dilakukan kajian geoteknik agar rencana penambangan dapat didukung dengan data yang akurat terutama dalam hal kemantapan lereng. Lereng yang tidak mantap/stabil dihindari karena akan longsor dan mengakibatkan kegiatan produksi terganggu/terhenti dan bahkan kemungkinan ada korban jiwa.

Lereng yang aman sesuai dengan aturan-aturan yang diberlakukan seperti merancang tinggi jenjang (*bench*), teras jenjang, dan mengetahui sudut yang aman agar memiliki Faktor Keamanan (*safety factor*), apabila FK untuk suatu lereng $> 1,0$ yang artinya (gaya penahan $>$ gaya penggerak), maka lereng tersebut berada dalam kondisi stabil. Tetapi apabila harga FK $< 1,0$ dimana (gaya penahan $<$ gaya penggerak), maka lereng tersebut berada dalam kondisi tidak stabil dan mungkin akan terjadi longsor pada lereng yang bersangkutan^[1].

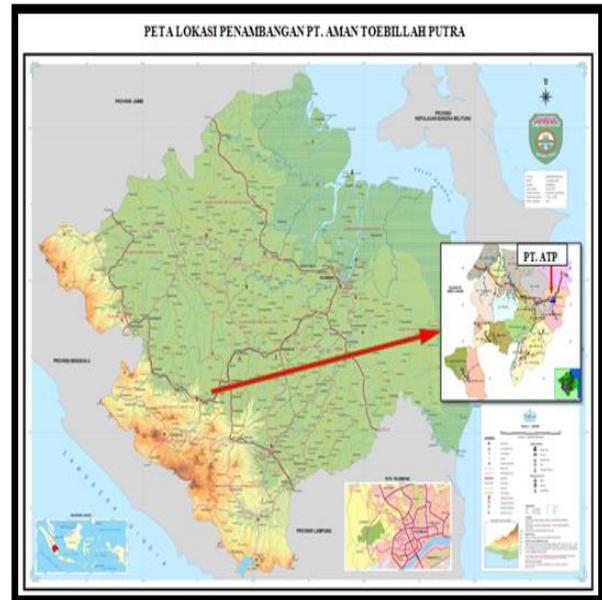
Kondisi seperti diatas ($FK=1,0$) tetap tidak dikehendaki, karena apabila terjadi pengurangan gaya penahan atau penambahan gaya penggerak sekecil apapun lereng akan menjadi tidak mantap dan longsoran segera terjadi. Karena itu harga faktor keamanan FK selalu dibuat lebih dari 1,0 (untuk lereng sementara/ front penambangan FK 1,3 untuk lereng permanen $FK = 1,5$ dan untuk bendungan $FK \geq 2,0$)^[2].

Pada PT. Aman Toebilah Putra sudah melakukan penimbunan *overburden* ke *disposal* dengan kondisi mencapai elevasi ± 85 meter, Sedangkan elevasi yang diharapkan mencapai 105 meter, bentuk lereng pada *disposal* pit "D" adalah 6 meter untuk tinggi lereng tunggal dengan kemiringan 45° . Jadi yang harus dipikirkan terlebih dahulu untuk pencapaian elevasi 105 meter tersebut adalah bagaimana lereng *disposal* tersebut memiliki kondisi yang aman.

Dalam rencana penambangan serta usaha untuk mendukung tercapainya produksi batubara dan menjamin keamanan kerja pada PT. Aman Toebilah Putra, maka dibutuhkan suatu rekomendasi geoteknik untuk perancangan lereng *disposalnya*. Sementara itu, analisis keadaan lereng pada saat kering, jenuh, dan setengah jenuh belum dilakukan pada *disposal*, kondisi karakteristik di *disposal* juga belum diketahui, dan belum dianalisis kemungkinan longsor yang terjadi pada area *disposal*.

2. Lokasi Penelitian

Lokasi PT. Aman Toebilah Putra terletak pada Koordinat $100^0 44' - 100^0 50'$ Bujur timur dan $0^0 35' - 0^0 43'$ Lintang Selatan. Tambang ini berada di Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan. Lokasi daerah penyelidikan dapat dicapai dengan menggunakan kendaraan roda empat Kota Palembang selama 5 jam melalui jalan Profinsi Palembang-Lahat yang melalui beberapa kota yaitu Kota Prambumulih dan Kota Muara Enim. Pencapaian ke lokasi-lokasi pengamatan dilakukan dengan menggunakan kendaraan roda dua dan berjalan kaki. Lokasi kesampaian PT.Aman Toebilah Putra dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi PT. Aman Toebilah Putra

3. Kajian Teori

3.1. Kestabilan Lereng

Kestabilan lereng, baik lereng alami maupun lereng buatan (buatan manusia) serta lereng timbunan, dipengaruhi oleh beberapa faktor yang dapat dinyatakan secara sederhana sebagai gaya-gaya penahan dan gaya-gaya penggerak yang berhubungan dengan kestabilan lereng tersebut.

Kestabilan lereng merupakan faktor vital dalam perencanaan dan operasional tambang terbuka dan kuari. Dalam penyusunan suatu rencana tambang selain faktor cadangan, teknis penambangan, ekonomi dan lingkungan, faktor kestabilan lereng juga menjadi faktor penting yang harus diperhatikan dengan seksama^[3].

3.2. Konsep Faktor Keamanan

Kestabilan lereng secara sederhana dinyatakan dalam bentuk faktor keamanan (FK), yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\text{Faktor Keamanan (FK)} = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}} \quad (1)$$

$$FK = \frac{cA + W \cos \psi \tan \phi}{W \sin \psi} \quad (2)$$

Rumus di atas menunjukkan bahwa kondisi kesetimbangan batas adalah suatu kondisi dimana faktor keamanan sama dengan satu ($FK = 1$). Apabila FK lebih besar dari satu ($FK > 1$), maka secara teoritis blok berada dalam kondisi stabil dan apabila nilai FK lebih kecil dari satu ($FK < 1$) maka blok akan meluncur ke bawah^[4].

3.3. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kestabilan Lereng

3.3.1. Geometri Lereng

Tambang terbuka tersusun atas sekumpulan lereng yang terdiri dari lereng tunggal (*single slope*) dan lereng keseluruhan (*overall slope*) dengan dimensi tinggi dan sudut tertentu. Tinggi lereng adalah jarak vertikal dari bidang kaki (*toe*) hingga puncak lereng (*crest*), sedangkan sudut lereng adalah sudut yang dibuat antara garis yang menghubungkan kaki dan puncak lereng dengan garis horizontal. Pada lereng keseluruhan juga terdapat daerah yang menghubungkan antar lereng dikenal dengan jenjang penahan (*catch berm*) dan bagian lereng untuk jalan tambang yang disebut *ramp* [5].

3.3.2. Aktifitas Manusia

Aktifitas seperti pengalihan dan peledakan menyebabkan perubahan keseimbangan gaya-gaya dalam sehingga akan menyebabkan bertambahnya gaya geser dan mengurangi kestabilan lereng. Pada kegiatan penggalian pada suatu lereng akan menyebabkan terjadinya perubahan besarnya gaya-gaya pada lereng yang mengakibatkan terganggunya kestabilan lereng dan akhirnya dapat menyebabkan lereng tersebut longsor [6].

Dalam kegiatan peledakan, pada saat ledakan terjadi terdapat dua energi yang dilepaskan dari bahan peledak yaitu *work energy* dan *waste energy*. *Work energy* merupakan energi peledakan yang menyebabkan pecahnya batuan serta terberainya tanah, energi ini merupakan energi yang diinginkan dari kegiatan peledakan. Sementara itu *waste energy* merupakan energi sisa yang tidak diinginkan karena dapat menimbulkan efek bahaya dan efek lain yang tidak menguntungkan bagi kegiatan peledakan [7].

3.3.3. Struktur Geologi

Struktur yang dimaksud meliputi sesar (*fault*), kekar (*joint*), perlipatan (*fold*), bidang perlapisan (*bedding plane*), dan rekahan (*crack*). Struktur merupakan bidang-bidang lemah sekaligus sebagai tempat merembesnya air sehingga dapat menurunkan kestabilan lereng [8].

3.3.4. Sifat Fisik dan Mekanik Batuan

Sifat fisik yang mempengaruhi kestabilan lereng antara lain bobot isi, porositas, dan kandungan air. Dalam mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan dilakukan dengan pengujian di laboratorium untuk mendapatkan angka bobot isi, kohesi dan sudut geser dalam pada lokasi [9].

3.3.5. Air Tanah

Menghitung gaya yang disebabkan oleh tekanan air yang bekerja pada lereng, perlu diasumsikan pola aliran air

tanah yang mungkin sama dengan kondisi di lapangan [10].

3.4. Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Kesetimbangan Batas

Kesetimbangan batas merupakan metode yang sangat populer dan rutin dipakai dalam analisis kestabilan lereng untuk longsoran translasional dan rotasional karena metode ini relatif sederhana, mudah digunakan, serta telah terbukti keandalannya selama bertahun-tahun [11]. Dalam analisisnya, metode kesetimbangan batas menggunakan kondisi kesetimbangan statik dan mengabaikan adanya hubungan regangan tegangan pada lereng. Menggunakan metode ini, geometri bidang runtuh harus diketahui atau ditentukan terlebih dahulu.

Salah satu metode kesetimbangan batas yang umum digunakan dalam analisis yaitu Metode Janbu Yang Disederhanakan (*Janbu Simplified Method*). Asumsi yang digunakan dalam metode ini yaitu gaya geser antar irisan sama dengan nol. Metode ini memenuhi kesetimbangan gaya dalam arah vertikal untuk setiap irisan dan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal untuk semua irisan, namun kesetimbangan momen tidak dapat dipenuhi [12].

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^n (c' \beta + (N-u) \beta) \tan \phi'}{\sum_{i=1}^n (N \sin \alpha + kW) + A} \quad (3)$$

3.5. Metode Grafis (Hoek and Bray)

Hoek and Bray membuat 5 (lima) buah diagram untuk tiap kondisi air tanah tertentu, mulai dari sangat kering sampai jenuh [13]. cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

Langkah 1

Tentukanlah kondisi air tanah yang ada dan sesuaikan dengan Gambar 14 untuk memilih diagram yang akan digunakan.

Langkah 2

Hitung angka $\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$, kemudian cocokkan angka tersebut pada lingkaran terluar dari diagram yang dipilih.

Langkah 3

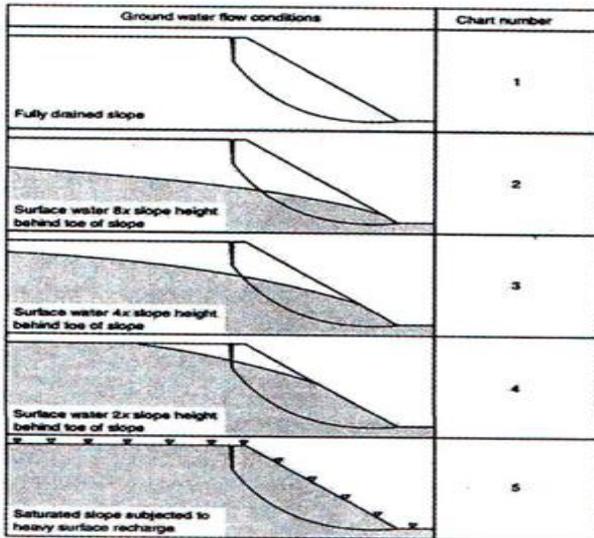
Ikuti jari-jari mulai dari angka yang diperoleh pada langkah 2 sampai memotong kurva yang menunjukkan kemiringan lereng.

Langkah 4

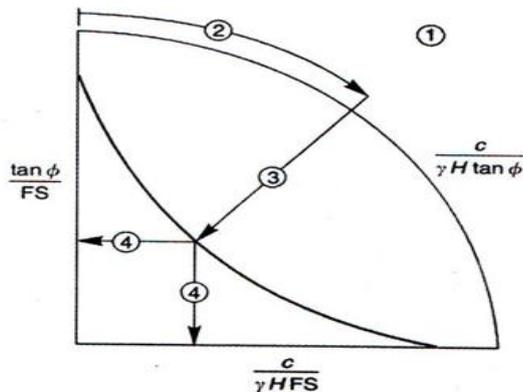
Dari titik pada langkah 3, kemudian ditarik ke kiri dan ke bawah untuk mencari angka-angka $\frac{\tan \phi}{FS}$ dan $\frac{c}{\gamma H FS}$

Langkah 5

Hitung faktor keamanan (FK) dari kedua angka yang diperoleh dari langkah 4 dan pilih yang paling tepat.



Gambar 2. Kondisi Air Tanah Lereng



Gambar 3. Diagram cara menghitung kestabilan lereng

4. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada tanggal 23 Maret 2018 – 23 Mei 2018. Lokasi penelitian ini terletak di Kabupaten Lahat, Provinsi Sumatera Selatan.

4.1. Jenis Penelitian

Penelitian ditujukan untuk memberikan solusi atas permasalahan pada pit “D” secara praktis sehingga termasuk dalam penelitian terapan (*applied research*). Dalam penelitian ini, pengukuran dan pengujian memegang peran sentral sehingga berdasarkan bentuk datanya tergolong penelitian kuantitatif.

4.2. 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.

Kemudian pengambilan data lapangan yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa geometri lereng aktual (tinggi lereng, kemiringan lereng, dan lebar *bench*). Data sekunder berupa peta lokasi kesampaian daerah, peta topografi lokasi penelitian, peta geologi regional, data hasil uji laboratorium (uji geser, bobot isi), dan data curah hujan.

4.3. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah. Setelah mendapatkan data-data yang diperlukan penulis menggunakan rumus-rumus melalui literatur yang ada untuk menganalisis data, analisis data yang dilakukan antara lain:

4.3.1. Pengambilan Data

Pengambilan data setelah studi literatur dan penelitian langsung di lapangan selesai dilaksanakan. Adapun data yang diambil berupa data primer dan data sekunder. Data primer diambil langsung dari lapangan sedangkan data sekunder diambil berdasarkan literatur dan arsip perusahaan.

4.3.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan mengolah data sesuai dengan teori pada literatur yang ada. Setelah mendapatkan data primer dan data sekunder, dilakukan pengolahan data dengan menggabungkan kedua data tersebut. Pengolahan data yang dilakukan adalah pembuatan rancangan *design* lereng yang aman dengan menggunakan metode diagram *Hoek and Bray* dan analisis hasil uji laboratorium menggunakan *software slide*.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. Pengujian Sampel

Pengujian sampel bertujuan untuk mengetahui jenis dan karakteristik material dari sampel di lokasi penelitian. Pada kegiatan ini dilakukan beberapa jenis pengujian, yaitu penentuan bobot isi dan uji kadar air. Pengujian dilakukan untuk 2 jenis material, yaitu *top soil*, dan *clay*.

5.1.1. Pengujian Bobot Isi

Pengujian berat isi/bobot isi bertujuan untuk mendapatkan berat isi/bobot isi tanah yang merupakan perbandingan antara berat tanah basah dengan volumenya ($gram/cm^3$). Pengujian bobot isi dilakukan terhadap masing-masing material di lokasi penelitian, yaitu *top soil*, *clay*, dan *tuff*. Data bobot isi kering yang diperoleh nanti digunakan untuk pengujian nilai kemandan lereng untuk berbagai metode, dan pengolahan data dipengaruhi oleh percepatan gravitasi ($9,807 m/s^2$). Sehingga data masukan yang semula beada dalam satuan $gram/cm^3$ di konversi menjadi satuan KN/m^3 . Adapun hasil dari pengujian bobot isi ini dapat dilihat pada tabel 1, dan 2 dibawah ini.

Table 1, Hasil Pengujian Bobot Isi Top Soil

Sampel uji	Satuan	I	II	III	IV	V
Nomor cincin	-	1	2	3	4	5
Tebal cincin (t)	cm	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Diameter cincin (d)	cm	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong (W_1)	gram	104,30	104,30	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah (W_2)	gram	353,69	381,41	350,46	344,73	303,04
Volume cincin ($V = \frac{1}{4} \pi d^2 t$)	cm^3	106,99	106,99	106,99	106,99	106,99
Berat isi ($\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$)	$gram/cm^3$	2,348	2,609	2,318	2,264	1,871
Berat isi rata-rata (γ)	$gram/cm^3$	2,282				
	KN/m^3	22,38				
Berat isi kering ($\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+\omega)}$)	$gram/cm^3$	2,01	2,146	2,016	1,974	1,701
Berat isi kering (γ_d)	$gram/cm^3$	1,969				
	KN/m^3	23,90				

Table 2. Hasil Pengujian Bobot Isi clay

Sampel uji	Satuan	I	II	III	IV	V
Nomor cincin	-	1	2	3	4	5
Tebal cincin (t)	cm	4,78	4,78	4,78	4,78	4,78
Diameter cincin (d)	cm	5,32	5,32	5,32	5,32	5,32
Berat cincin kosong (W_1)	gram	104,30	104,30	104,30	104,30	104,30
Berat cincin + tanah (W_2)	gram	340,25	352,71	344,59	342,40	325,54
Volume cincin ($V = \frac{1}{4} \pi d^2 t$)	cm^3	106,99	106,99	106,99	106,99	106,99
Berat isi ($\gamma = \frac{W_2 - W_1}{V}$)	$gram/cm^3$	2,223	2,339	2,263	2,242	2,083
Berat isi rata-rata (γ)	$gram/cm^3$	2,23				
	KN/m^3	22,217				
Berat isi kering ($\gamma_d = \frac{\gamma}{(1+\omega)}$)	$gram/cm^3$	1,881	1,862	1,887	1,895	1,805
Berat isi kering (γ_d)	$gram/cm^3$	1,866				
	KN/m^3	25,08				

5.1.2. Pengujian Kadar Air

Pengujian kadar air terhadap sampel bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kadar air yang terkandung dalam material penyusun lereng di lapangan. Adapun data hasil pengujian kadar air dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3, Pengujian Kadar air top soil

Sampel uji	I	II	III	IV	V
Berat cawan (T_w) (gram)	3	3	3	3	3
Berat cawan + tanah basah (W_w) (gram)	29,17	32,39	39,84	37,91	38,20
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (D_w) (gram)	25,40	27,17	35,02	33,43	35,11
Berat Air ($W_w - D_w$) (gram)	3,77	5,22	4,82	4,48	3,09
Berat tanah kering ($D_w - T_w$) (gram)	22,40	24,17	32,02	30,43	32,11
Kadar air $\omega = \frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	16,8	21,6	15,1	14,7	9,6
Kadar air rata-rata (%)	15,56				

Tabel 4. Pengujian Kadar Air clay

Sampel uji	I	II	III	IV	V
Berat cawan (T_w) (gram)	8,38	8,35	8,28	8,28	8,33
Berat cawan + tanah basah (W_w) (gram)	47,43	47,91	47,83	47,95	47,05
Berat cawan + tanah setelah dikeringkan (D_w) (gram)	39,71	39,04	39,22	39,90	39,02
Berat Air ($W_w - D_w$) (gram)	7,72	8,87	8,61	8,05	8,03
Berat tanah kering ($D_w - T_w$) (gram)	31,33	30,69	30,94	31,62	30,69
Kadar air $\omega = \frac{W_w - D_w}{D_w - T_w} \times 100\%$	24,64	28,90	27,82	25,45	26,16
Kadar air rata-rata (%)	26,58				

Berdasarkan hasil pengujian kadar air terhadap 2 jenis sampel (*top soil*, *clay/napal*) diperoleh kadar air rata-rata dari jenis lapisan yaitu 15,52%, dan 26,58%. Perbedaan kadar air pada tiap-tiap lapisan dipengaruhi oleh material penyusun dari lapisan tersebut.

5.1.3. Pengujian Kuat Geser

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan parameter kekuatan tanah, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Diameter cetakan : 6,35 cm

$$\text{Luas cetakan (A)} : \frac{1}{4} \times \pi d^2 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,35^2 = 31,653 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{N}{A}$$

Hasil pengujian kuat geser pada lapisan dapat dilihat pada Tabel 5, dan 6. Dan grafik hasil pengujian pada Gambar 4, dan 5.

Table 5. Hasil Uji Geser Langsung Top Soil

No	Beban normal (kg)	Tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	Beban geser (S) (kg)	Tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	5,3	0,167
2	6	0,19	7,7	0,243
3	9	0,28	9,3	0,294

Uji geser terhadap top soil dengan beban normal 3 kg

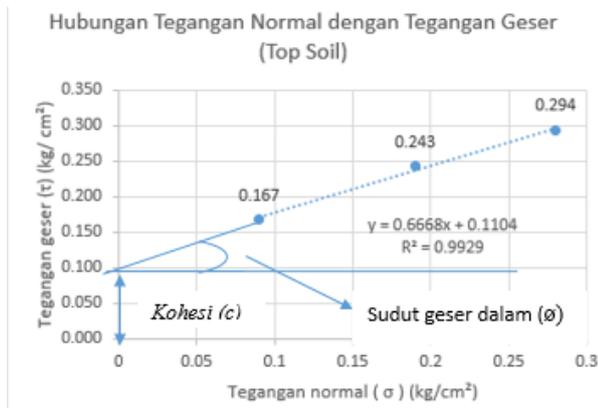
$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{5,3 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,167 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser terhadap top soil dengan beban normal 6 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{7,7 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,243 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser terhadap top soil dengan beban normal 9 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{9,3 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,294 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 6. Grafik uji geser langsung Top Soil

$$\begin{aligned} \text{Kohesi (c)} &= 0,1104 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,1104 \text{ Kg /10}^{-4} \text{ m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,1104 \text{ Kgm/s}^2 \times 9,807/10^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 1,0826 \text{ N/10}^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 10,826 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut geser (φ)} &= 0,6668 \\ &= \tan^{-1} 0,6668 \\ &= 33,69^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian yang di-inputkan kedalam grafik di atas dan kemudian di konversi, diperoleh nilai kohesi (c) sebesar 10,826 KN/m² dan sudut geser dalam (φ) sebesar 33,69°.

Table 6. Hasil uji langsung Clay

No	Beban normal (kg)	Tegangan normal (σ) (kg/cm ²)	Beban geser (S) (kg)	Tegangan geser (τ) (kg/cm ²)
1	3	0,09	6,1	0,193
2	6	0,19	7,3	0,231
3	9	0,28	8,2	0,259

Uji geser terhadap clay dengan beban normal 3 kg

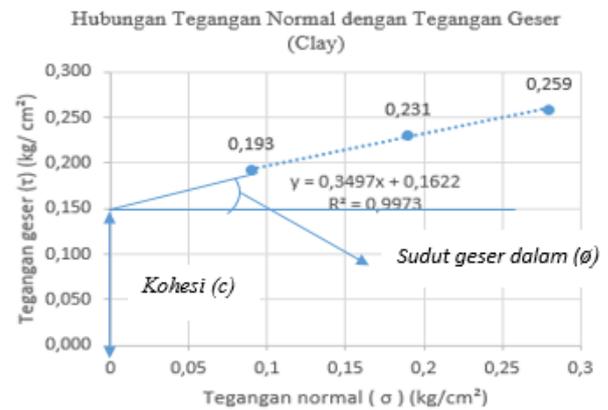
$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{6,1 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,193 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser terhadap clay dengan beban normal 6 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{7,3 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,231 \text{ kg/cm}^2$$

Uji geser terhadap clay dengan beban normal 9 kg

$$\tau = \frac{S}{A} = \frac{8,2 \text{ kg}}{31,653 \text{ cm}^2} = 0,259 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 7. Grafik uji geser langsung clay

$$\begin{aligned} \text{Kohesi (c)} &= 0,1622 \text{ Kg/cm}^2 \\ &= 0,1622 \text{ Kg /10}^{-4} \text{ m}^2 \times 9,807 \text{ m/s}^2 \\ &= 0,1622 \text{ Kgm/s}^2 \times 9,807/10^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 1,5906 \text{ N/10}^{-4} \text{ m}^2 \\ &= 15,906 \text{ KN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sudut geser (φ)} &= 0,3497 \\ &= \tan^{-1} 0,3497 \\ &= 19,27^\circ \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil pengujian geser langsung terhadap sampel clay yang di-inputkan kedalam grafik di atas, diperoleh nilai kohesi (c) sebesar 15,906 KN/m² dan sudut geser dalam (φ) sebesar 19,27°.

5.2. Pemodelan dan Analisis Geometri Lereng

Pemodelan lereng dilakukan untuk mengetahui bentuk dari lereng jalan yang berada di lokasi penelitian. Pada penelitian ini, pemodelan lereng dilakukan dengan menggunakan software tambang kemudian dilakukan analisis nilai safety factor dari lereng. Pada lereng di lokasi penelitian, analisis dilakukan pada material penyusun lereng yang memiliki karakteristik masing-masing dari tiap lapisan.

Karakteristik material yang berada di lokasi penelitian nantinya dilakukan simulasi kemantapan lereng dengan menggunakan software tambang. Parameter yang di inputkan kedalam software ini meliputi kohesi (c), sudut

geser dalam (ϕ), dan berat satuan (γ). Nantinya pada lereng tersebut dilakukan simulasi pada saat lereng berada dalam kondisi kering, jenuh, dan natural. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kejadian terburuk saat berada di lapangan.

Adapun prosedur analisis kestabilan lereng keseluruhan menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium method*) meliputi tahapan berikut :

5.2.1. Pembuatan Geometri Model

Dalam pembuatan model geometri diperlukan data masukan berupa batas lereng, karakteristik material dan permukaan air. Karena tidak dilakukan mengenai analisis muka air tanah, saat pemodelan lereng dalam kondisi jenuh permukaan air tanah dianggap sama dengan permukaan air tanah.

5.2.2. Penentuan Jenis Longsoran

Jenis longsoran yang dianalisis pada *software* tambang adalah longsoran tipe busur (*circular failure*).

5.2.3. Pengolahan Data dan perhitungan

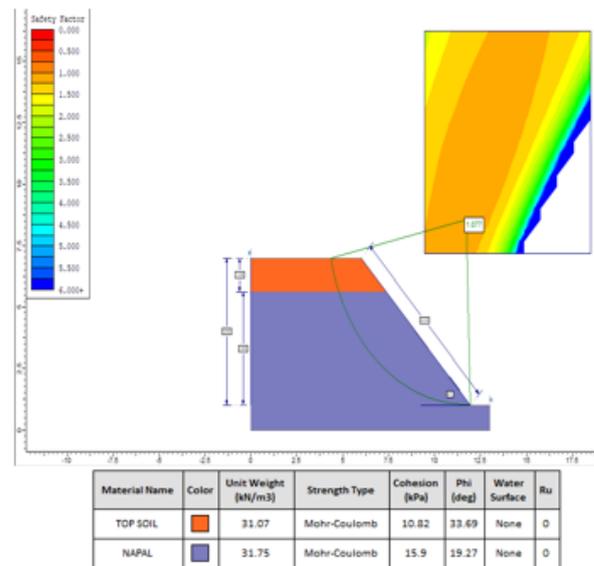
Setelah data selesai di input, maka data akan dilakukan pengolahan dan hasil perhitungan dari *software* tambang tersebut akan dianalisis. Data yang diperoleh dalam *software* kemudian akan dibandingkan dengan data yang dilakukan perhitungan secara manual.

5.2.4 Interpretasi

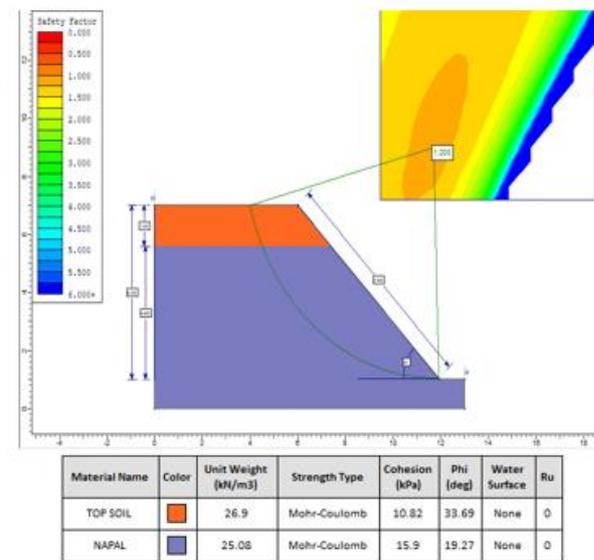
Hasil dari perhitungan tersebut kemudian akan diinterpretasikan untuk menganalisis model geometri yang lebih lanjut. Analisis model didasarkan pada nilai factor keamanan yang dihasilkan dari perhitungan dengan menggunakan *software* dan metode *Hoek and Bray*.

5.2.5 Analisis dengan menggunakan *software* Tambang

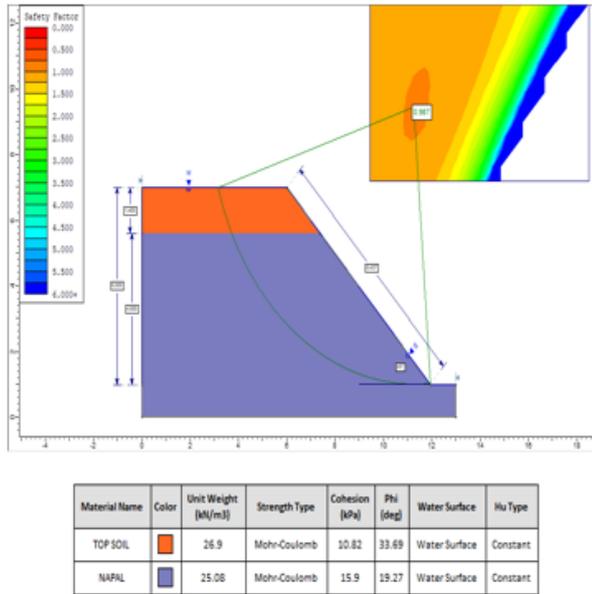
Mengacu pada (Bowles, 1989), dalam menganalisis faktor keamanan dengan menggunakan *software* tambang, nilai faktor keamanan lereng harus berada diatas 1,25. Apabila nilai yang diperoleh berada dibawah nilai tersebut, lereng dinyatakan dalam kondisi tidak aman. Hasil analisis dari lereng aktual di lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 8** sampai **10** sebagai berikut.



Gambar 8. Lereng kondisi Natural dengan Software



Gambar 9. Lereng Kondisi Kering dengan Software



Gambar 10. Lereng Kondisi Jenuh dengan Software

5.2.6. Analisis Keamanan dengan Metode Hoek and Bray (1981)

Analisis dengan metoda *Hoek and Bray (1981)* merupakan metoda yang dilakukan sebagai metode pengujian untuk pembandingan dari analisis yang dilakukan. Pengujian ini mengasumsikan lereng berada dalam tiga kondisi, yaitu kering, natural dan jenuh. Hasil pengujian lereng aktual 45° dengan menggunakan metode *Hoek and Bray (1981)* dapat dilihat pada **Tabel 7** :

Table 7. Hasil Pengujian Metode *Hoek and Bray*

Kondisi Lereng	Jenis Lapisan	$\alpha(^{\circ})$	$\frac{c}{\gamma H \tan \phi}$	$\frac{\tan \phi}{F_s}$	$\frac{c}{\gamma H F_s}$	FK lereng	Status Lereng
Kering	Top Soil	45	0,19	1,19	1,22	1,22	Kritis
	Clay						
Natural	Top Soil		0,19	1,05	0,87	1,05	Kritis
	Clay						
Jenuh	Top Soil		0,19	0,91	0,93	0,93	Tidak Aman
	Clay						

5.3. Perbaikan Stabilitas Lereng

Perbaikan stabilitas lereng dimaksudkan untuk mengurangi, mencegah dan menanggulangi dampak negatif serta meningkatkan dampak positif. Kajian ini didasarkan pada studi kelayakan teknik atau studi geologi yang mencakup geologi teknik, mekanika tanah dan hidrogeologi. Dengan demikian pendekatan dalam menanggulangi lereng rawan longsor selain didasari oleh hasil rekomendasi studi geologi juga didasari pula oleh lingkungannya. Prinsip utama dalam melakukan perbaikan stabilitas ini adalah mengurangi gaya penggerak lereng atau menambah gaya penahannya.

Pada simulasi perbaikan stabilitas lereng, lereng diasumsikan dengan sudut kemiringan tertentu dan lereng ditempatkan dalam kondisi kering, jenuh, natural. Lereng tersebut nantinya akan dilakukan analisis nilai keamanan dengan menggunakan *software* tambang dan kemudian dilakukan kalkulasi secara manual sebagai pembandingan. Hasil pengujian lereng dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

Table 8. Hasil Pengujian Kondisi Lereng dengan Software

No	Kemiringan lereng	Tinggi Lereng	Kondisi Lereng	Faktor Keamanan Software	Status Lereng
1	45°	6 m	Kering	1,206	Kritis
		6 m	Natural	1,077	Kritis
		6 m	Jenuh	0,987	Tidak Aman
2	35°	6 m	Kering	1,424	Stabil
		6 m	Natural	1,292	Stabil
		6 m	Jenuh	1,146	Kritis
3	45°	5 m	Kering	1,331	Stabil
		5 m	Natural	1,188	Kritis
		5 m	Jenuh	1,117	Kritis
4	35°	5 m	Kering	1,569	Stabil
		5 m	Natural	1,414	Stabil
		5 m	Jenuh	1,283	Stabil

Table 9. Hasil Pengujian Kondisi Lereng dengan *Hoek and Bray (1981)*

No	Kemiringan lereng	Tinggi Lereng	Kondisi Lereng	Faktor Keamanan Hook and Bray	Status Lereng
1	45°	6 m	Kering	1,22	Kritis
		6 m	Natural	1,05	Kritis
		6 m	Jenuh	0,93	Tidak Aman
2	35°	6 m	Kering	1,52	Stabil
		6 m	Natural	1,16	Kritis
		6 m	Jenuh	1,07	Kritis
3	45°	5 m	Kering	1,37	Stabil
		5 m	Natural	1,16	Kritis
		5 m	Jenuh	0,98	Tidak Aman
4	35°	5 m	Kering	1,65	Stabil
		5 m	Natural	1,25	Stabil
		5 m	Jenuh	1,37	Stabil

Dari hasil pengujian yang dilakukan baik menggunakan *software* maupun perhitungan dengan *Hook and Bray*, memiliki hasil yang tidak jauh berbeda. Akan tetapi dari 4 simulasi yang dilakukan untuk mendapatkan geometri yang ideal. Hanya ada beberapa buah lereng yang dinyatakan aman, yaitu percobaan ke-2 dan 4, untuk kondisi lereng dengan kemiringan lereng sebesar 35° memiliki nilai keamanan dalam kondisi kering sebesar 1,424 dengan menggunakan *software*, sedangkan saat dilakukan perhitungan berdasarkan grafik *Hoek and Bray* 1,52. Sedangkan untuk kondisi natural dengan kemiringan lereng 35°, lereng tersebut dinyatakan dalam keadaan stabil, karena mempunyai nilai keamanan 1,292 dengan

menggunakan *software*, sedangkan cara metoda grafik *Hoek and Bray* 1,16 yang dikategorikan kritis.

Tahapan selanjutnya yaitu dilakukan uji coba lagi dengan memperkecil sudut kemiringan dan tinggi lereng menjadi 35° dan 5 meter. Saat dilakukan pengansumsian perlakuan terhadap lereng, lereng kondisi kering memiliki nilai keamanan 1,569 menggunakan *software*, kemudian secara metoda *Hoek and Bray* 1,65. Sedangkan untuk kondisi natural (alami) dan jenuh, lereng berada dalam kondisi aman dengan nilai keamanan di atas faktor standar ($\geq 1,25$).

Berdasarkan perolehan nilai keamanan dari simulasi yang dilakukan, diharapkan dapat menjadi rekomendasi untuk perbaikan stabilitas lereng nantinya. Selain itu penanganan lereng dalam kondisi jenuh dapat dilakukan dengan mengendalikan air permukaan, mengendalikan air bawah permukaan, serta pembuatan drainase di kaki lereng.

5.3.1. Penambahan Beban Kaki Lereng

Penambahan beban pada kaki lereng merupakan cara penanggulangan yang bertujuan untuk menahan massa tanah yang mengalami pergerakan. Cara ini dapat dilakukan dengan pembuatan dinding penahan atau *retaining wall* yang di desain terlebih dahulu. Apabila perbaikan geometri lereng tidak mungkin dilakukan, cara ini dapat menjadi alternatif untuk pencegahan lereng longsor.

5.3.2. Pencegahan Lereng Dalam Kondisi Jenuh

Kegiatan pencegahan ini dapat dilakukan dengan pembuatan penyalir air (dari bambu atau paralon), di kemiringan lereng dekat kaki lereng. Hal ini bertujuan agar muka air tanah yang naik dalam tubuh lereng akan mengalir keluar, sehingga terjadi penurunan muka air tanah.

5.3.3. Pengendalian Air Permukaan

Pengendalian air permukaan dapat dilakukan dengan pembuatan desain drainase yang memadai, sehingga air permukaan dari puncak-puncak lereng dapat mengalir lancar dan infiltrasi berkurang. Selain itu jua dapat dilakukan penanaman vegetasi di puncak lereng untuk mengurangi *run-off* pada lereng.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian sifat fisik dan mekanik yang telah dilakukan, diperoleh parameter uji yang mempengaruhi kestabilan lereng di lokasi penelitian, yaitu:
 - a. *Top Soil* dengan ketinggian 6 m, memiliki bobot isi (γ) = 31,07 KN/m^3 , bobot isi kering

(γ_d) = 26,90 KN/m^3 , kohesi (c) sebesar 10,82 KN/m^2 dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 33,69°.

- b. *Clay* dengan ketinggian 6 m, memiliki bobot isi (γ) = 31,75 KN/m^3 , bobot isi kering (γ_d) = 25,08 KN/m^3 , kohesi (c) sebesar 15,90 KN/m^2 dan sudut geser dalam (ϕ) sebesar 19,27°.

2. Kondisi lereng pada lokasi penelitian tepatnya di pit "D" memiliki sudut lereng sebesar 45° dengan ketinggian lereng 6 m dinyatakan dalam kondisi tidak stabil karena memiliki nilai keamanan dibawah 1,25, sehingga berpotensi menyebabkan terjadinya longsor.
3. Dari hasil dengan menggunakan software tambang untuk kondisi kering = 1,200; jenuh = 0,987; dan natural = 1,077. Hasil pengujian tersebut menandakan bahwa kondisi lereng di lokasi penelitian dinyatakan tidak aman.
4. Dari hasil pengujian yang dilakukan, rekomendasi lereng yang aman agar tidak terjadi longsor adalah lereng dengan kemiringan 35°, dengan ketinggian lereng 5 meter, diperoleh nilai faktor keamanan dengan menggunakan software tambang untuk kondisi kering = 1,569 (kondisi lereng aman); jenuh = 1,283 (kondisi lereng aman); dan natural = 1,414 (kondisi lereng aman). Sedangkan berdasarkan diagram *Hoek and Bray*, nilai keamanan lereng kondisi kering 1,65 (lereng aman); kondisi jenuh 1,25 (lereng aman); dan natural 1,37 (lereng aman).

6.2. Saran

1. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, penambahan data pengamatan diperlukan untuk memperkecil kesalahan dalam analisis.
2. Perlu dilakukannya pengamatan terhadap getaran, tekanan air tanah, dan aliran air tanah menimbang lereng di lokasi penelitian yang digunakan sebagai jalan lintas alat angkut dan gali muat.
3. Diperlukan pemantauan lebih lanjut untuk mengetahui kondisi dari material perlapisan.
4. Perbaikan geometri lereng lebih lanjut diperlukan untuk mengantisipasi terjadinya kelongsoran.

Daftar Pustaka

- [1] Romana, M.R., *A Geomechanical Classification for Slopes: Slope Mass Rating*, Pergamon Press, United Kingdom (1993).
- [2] Arif, Irwandy. *Geoteknik Tambang*. Bandung: ITB (2015).
- [3] Fikri, M Adli dan Bambang Heriyadi. *Analisis Stabilitas Lereng Pada Pit Tambang Air Laya Barat*

- Section C-C' PT. Bukit Asam Tbk. Sumatera Selatan.* Jurnal Bina Tambang **3**, 2 (2018).
- [4] Karyono. *Kemantapan Lereng Batuan.* Hand out. Diklat Perencanaan Tambang Terbuka UNISBA (2004).
- [5] Rahim, Azhary dan Bambang Heriyadi. *Analisis Kestabilan Lereng Untuk Menentukan Geometri Lereng Pada Area Penambangan Pit Muara Tiga Besar Selatan PT. Bukit Asam Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.* Jurnal Bina Tambang **2**, 1 (2015).
- [6] Fahlevi, Rendy. *Analisis Pengaruh Parameter Peledakan Terhadap Kestabilan Lereng Highwall Pit Rama PT Arutmin Indonesia Tambang Satui Ditinjau Dari Getaran Tanah Akibat Peledakan.* Jurnal Teknik Pertambangan **2**, 3. Bandung: ITB (2012).
- [7] Arief, Saifuddin. *Konsep Dasar & Metode-metode dalam Analisis Kestabilan Lereng.* Buku kompilasi tidak diterbitkan (2007).
- [8] Arief, Saifuddin. *Analisis Kestabilan Lereng dengan Metode Irisan.* Buku kompilasi tidak diterbitkan (2008).
- [9] Santoso, Eko, dkk. *Pendekatan Probabilistik dalam Analisis Kestabilan Lereng pada Daerah Ketidakstabilan Dinding Utara di PT. Newmont Nusa Tenggara.* Paper Prosiding TPT XXII PERHAPI (2013).
- [10] Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining.* 4rd. (ed). New York: Spoon Press (2004).
- [11] LPPM UPNVY. *Studi Geoteknik Untuk Penambangan Batubara PT. Senamas Energindo Mineral.* Final Report. Yogyakarta: UPNVY (2010).
- [12] Teguh Nurhidayat, dkk. *Pengaruh Tinggi Muka Air Tanah Terhadap Faktor Kestabilan Lereng Tambang.* Jurnal Teknik Geologi **6**, 2. Bandung: UNPAD (2016).
- [13] Bowles, Joseph E. 1989. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknik Tanah (Mekanika Tanah)* Edisi kedua. Erlangga. Jakarta.