

Simulasi Pengaruh Kadar Air Tanah terhadap Parameter Mekanik untuk Desain Lereng Tanah di Bukit Tui, Kelurahan Tanah Hitam, Kecamatan Padang Panjang Barat, Kota Padang Panjang, Provinsi Sumatera Barat

Ahmad Abdillah^{1*}, Yoszi Mingsi Anaperta^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*ahmadabdillah04.aa@gmail.com

**yoszi_mingsi@yahoo.com

Abstract. Tui Hill is a limestone hill lined south of Padang Panjang. The results of investigations on the slopes of Bukit Tui at the location of S0 ° 28 '18.5 "E100 ° 23' 54.7 located in Tanah Hitam, have cracking of 20 m long, 1.5 m deep, 60 cm wide. This study aims to design a safe slope design by considering changes in mechanical parameters (cohesion and inner shear angle) due to increased soil water content. From several simulations of increasing water content values, slope FK calculations were performed. The calculation results show that in the original condition FK 1.632 was obtained, for the simulation of increasing the water content value, additional water from 5% to 20% was carried out. The addition of 5% water was obtained by FK 1,567. 10% water addition was obtained FK 1.425, 15% water addition obtained FK value 1.2273, 20% addition of water obtained FK 1.080. For the safe slope design FK values were taken in the condition of adding 20% moisture content, FK = 1.080. Based on this consideration, stable slope conditions can be achieved by reducing the slope with a slope consisting of three levels with a height of 15 m and a slope of 380, the second level with an altitude of 10.003 m and slope 400, the last level with a height of 10 m and slope 360.

Keywords: Slope Stability Analysis, *moisture content*, *safety factor (FK)*, *cohesion*, *inner sliding angle*

1. Pendahuluan

Bencana alam longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia. Sumatera Barat merupakan salah satu wilayah yang perlu diwaspadai terhadap potensi terjadinya longsor. Hal ini dikarenakan Sumatera Barat merupakan salah satu dari deretan daerah aktif tektonik dan vulkanik yang terletak pada pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia, pergerakan lempeng tersebut memicu banyaknya bencana alam, salah satunya adalah longsor.

Bukit Tui adalah bukit kapur yang berjajar di selatan Padang Panjang, letaknya berada antara Kelurahan Rao-Rao hingga Tanah Hitam. Di lokasi ini pernah terjadi longsor besar di Tahun 1987. Akibat longsor tersebut

menyebabkan 136 Korban (Arsip Kota Padang Panjang, 2012). Hasil investigasi pada tanggal 3 Mei 2018 pada lereng Bukit Tui di lokasi S0° 28' 18,5" E100° 23' 54,7"- S0° 28' 19,3" E100° 23' 55,7" terdapat lereng tanah yang mengalami rengkahan sepanjang 20 m, kedalaman 1,5 m, dan lebar rengkahan 60 cm. Berdasarkan hasil observasi pada lokasi penelitian ada beberapa faktor yang dapat memicu terjadinya longsor, seperti curah hujan, geometri lereng yang tinggi dan terjal, serta ditemukannya rengkahan. Potensi akan terjadinya longsor pada lereng penelitian dapat membahayakan masyarakat di lokasi lereng. Selain itu, material akibat longsor dapat menyebabkan tertutupnya jalan sehingga menghambat lalu lintas pengguna jalan.

Kondisi lereng yang tinggi dan terjal serta terdapat rengkahan yang membuat lereng rawan terjadinya longsor. Hal ini dipicu juga dengan intensitas curah hujan yang tinggi di Padang Panjang. Kehadiran hujan dapat menyebabkan kondisi jenuh pada lereng sehingga dapat menyebabkan terjadinya longsor. Curah hujan yang tinggi dan berlangsung lama sangat berperan dalam memicu terjadinya gerakan tanah (longsor). Air hujan yang meresap ke dalam lereng dapat meningkatkan kejenuhan tanah pada lereng, sehingga tekanan air untuk merenggangkan ikatan tanah meningkat pula, dan akhirnya massa tanah terangkut oleh aliran air dalam lereng. Peningkatan kadar air menyebabkan penurunan nilai sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) yang berdampak terhadap penurunan kestabilan lereng^[1].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan kadar air material tanah terhadap sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) di lereng Tanah Bukit Tui. Dari masing-masing nilai sifat mekanik akan dilakukan simulasi nilai Faktor Keamanan (FK) sehingga didapatkan hubungan kadar air terhadap nilai FK lereng. Luaran dari analisis ini akan didapatkan rekomendasi *desain* lereng yang aman di Lereng Tanah Bukit Tui, Kelurahan Tanah Hitam, Kecamatan Padang Panjang Barat, Kota Padang Panjang, Provinsi Sumatera Barat.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Bukit Tui Kecamatan Padang Panjang Barat Kota Padang Panjang. Kota Padang Panjang sebagai kota terkecil di Provinsi Sumatera Barat memiliki sumberdaya alam yang terbatas. Salah satu kawasan sumberdaya alam yang dimanfaatkan secara bersama oleh masyarakat Padang Panjang adalah Kawasan Bukit Tui^[2].

Luas wilayah Kota Padangpanjang adalah 2.300 Ha atau sekitar 0,05% dari luas Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis Padangpanjang terletak antara 100° 20' dan 100° 27' Bujur Timur serta 0°27' dan 0° 30' Lintang Selatan. Titik longsor tempat dilakukan penelitian terdapat pada S0° 28' 45,4" E100° 24' 18,2"-S0° 28' 45,0" E100° 24' 19,4" dengan elevasi 790 m^[2].



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah

2.2. Teori Dasar

2.2.1. Tanah

Tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas terletak di atas batuan dasar. Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran, atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur dengan butir-butiran lanau maupun pasir^[3].

2.2.2. Lereng

Lereng merupakan bagian dari infrastruktur jalan wilayah berbukit yang keberadaannya turut berperan dalam menunjang kelancaran moda transportasi darat, sementara faktor lainnya adalah tingkat keamanan, kenyamanan, waktu tempuh dalam perjalanan dan faktor kendaraan itu sendiri. Konstruksi jalan yang baik memerlukan perencanaan, pembangunan, penataan dan pemeliharaan yang handal, mulai dari pengetahuan tanah dasar (subgrade) sampai material konstruksi jalan^[4].

Faktor eksternal yang dapat mempercepat dan menjadi pemicu longsor tanah terdiri dari berbagai faktor yang kompleks seperti kemiringan lereng, perubahan kelembaban tanah/batuan karena masuknya air hujan, tutupan lahan serta pola pengolahan lahan, pengikisan oleh air yang mengalir (air permukaan), ulah manusia seperti penggalian dan lain sebagainya^[5].

2.2.3. Pengertian dan Teori Dasar Longsor

Banyak jenis gerakan massa tanah yang dapat diklasifikasikan sebagai longsor. Gerakan massa tanah merupakan perpindahan massa tanah atau batuan pada arah tegak, datar, atau miring dari kedudukan semula, yang terjadi bila ada gangguan kesetimbangan pada saat itu^[6].

2.2.4. Kestabilan Lereng

Lereng merupakan bagian dari permukaan bumi yang berbentuk miring. Sedangkan kestabilan lereng merupakan suatu kondisi atau keadaan yang mantap/stabil terhadap suatu bentuk dan dimensi lereng^[7].

Dalam keadaan tidak terganggu (alamiah), massa tanah atau batuan yang berada dipermukaan bumi, baik yang berbentuk lereng atau bukan umumnya berada dalam keadaan seimbang terhadap gaya-gaya yang timbul dari dalam. Tetapi bila terjadi gangguan tertentu sampai menyebabkan lereng mengalami perubahan keseimbangan misalnya akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi atau aktivitas lain, maka massa tanah atau batuan tersebut akan berusaha untuk mencapai keadaan keseimbangan yang baru secara alamiah^[7].

2.2.5. Faktor-faktor yang Mempengaruhi kestabilan Lereng

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng diantaranya :

2.2.5.1. Geometri Lereng

Geometri lereng terdiri dari tinggi dan sudut lereng. Sudut lereng yang makin besar akan memberikan volume material makin besar, sehingga beban lereng bertambah besar. Beban yang semakin besar akan memberi peluang terjadinya longsor^[8].

Untuk menghindari terjadinya longsor pada saat penambangan, perlu direncanakan geometri lereng yang aman dan realistis. Geometri jenjang terdiri dari tinggi jenjang, sudut lereng jenjang tunggal, dan lebar dari jenjang penangkap (*catch bench*)^[8].

Rancangan geoteknik lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk parameter-parameter diantaranya^[8]:

1. Tinggi lereng: lereng yang terlalu tinggi cenderung mudah longsor dibanding lereng yang tidak terlalu tinggi dengan jenis material yang sama.
2. Sudut lereng: semakin besar sudut kemiringan lerengnya maka lereng tersebut semakin tidak stabil.
3. *Berm*: semakin lebar *berm*, maka lereng akan semakin stabil.

2.2.5.2. Sifat Fisik dan Mekanik Material

Sifat fisik batuan meliputi bobot isi, porositas, kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, *spesific gravity* dan permeabilitas. Kehadiran air pada tanah/batuan akan menambah beban pada lereng sehingga akan menaikkan tekanan air pori. Tekanan air pori akan mengurangi kekuatan material terhadap pengaruh kelongsoran^[9].

Sedangkan sifat mekanik tanah berupa kuat geser, kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam dan kohesi tanah berpengaruh terhadap kuat geser massa tanah tersebut.

Kuat tekan tanah akan mempengaruhi kekuatan tanah terhadap gangguan kestabilan lereng^[9,10].

2.2.6. Jenis-jenis Longsoran

Adapun jenis-jenis longsoran diantaranya yaitu longsoran busur, longsoran bidang, longsoran baji dan longsoran guling^[11].

2.2.6.1. Longsoran Busur (*Circular Failure*)

Jenis longsoran ini adalah yang paling umum terjadi di alam (tipikal longsoran tanah/soil). Pada batuan yang keras, jenis longsoran ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longsoran geser di permukaan^[11,12].

2.2.6.2. Longsoran Bidang (*Plane Failure*)

Longsoran jenis ini terjadi pada batuan yang mempunyai bidang lurus bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng dan bidang lurcunya pada bidang diskontinu seperti: sesar, kekar, liniasi atau bidang perlapisan. Fenomena lainnya yang memicu longsoran jenis ini yaitu bila sudut lereng lebih besar dari sudut bidang lurus serta sudut geser dalam lebih kecil dari sudut bidang lurcunya. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung dengan kemiringan bidang kekar rata-rata hampir atau searah dengan kemiringan lereng^[11,12,13].

2.2.6.3. Longsoran Baji (*Wedge Failure*)

Model longsoran ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan ke arah kemiringan lereng^[12,13].

2.2.6.4. Longsoran Guling (*Toppling Failure*)

Longsoran *toppling* akan terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang-bidang diskontinu yang hampir tegak atau tegak, dan longsoran dapat berbentuk blok atau bertingkat. Bila longsoran terjadi pada massa batuan yang kuat dengan fenomena kekar yang relatif tegak, maka rekahan tariknya akan melendut terus dan miring ke arah kemiringan lereng^[13,14].

2.2.7. Faktor Keamanan lereng Minimum

Kelongsoran suatu lereng umumnya terjadi melalui suatu bidang tertentu yang disebut dengan bidang gelincir (*slip surface*). Kestabilan lereng tergantung pada gaya

penggerak dan gaya penahan yang bekerja pada bidang gelincir tersebut. Gaya penahan (*resisting forces*) adalah gaya yang menahan agar tidak terjadi kelongsoran, sedangkan gaya penggerak (*driving force*) adalah gaya yang menyebabkan terjadinya kelongsoran^[15].

Secara sistematis faktor keamanan suatu lereng dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut^[16].

$$F = \frac{\text{resultan gaya-gaya penahan}}{\text{resultan gaya-gaya penggerak}} \quad (1)$$

Dengan penentuan, jika:

FK > 1,0 : Lereng dalam kondisi stabil.

FK < 1,0 : Lereng tidak stabil

FK = 1.0 : Lereng dalam kondisi kritis.

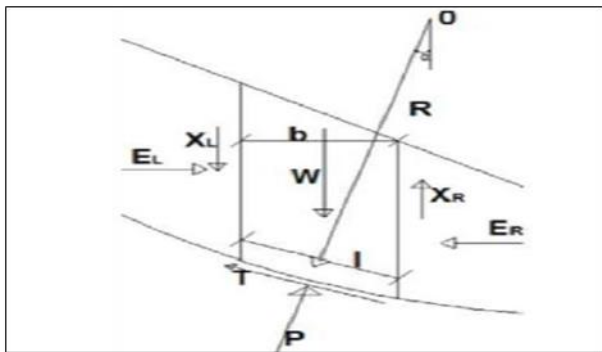
2.2.8. Analisis Kesatabilan Lereng Tanah dengan Metode Bishop

Metode *Bishop* merupakan metode yang diperkenalkan oleh A.W. *Bishop* menggunakan cara potongan dimana gaya-gaya yang bekerja pada tiap potongan. Metode *Bishop* dipakai untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Dalam metode ini diasumsikan bahwa gaya-gaya normal total berada/bekerja dipusat alas potongan dan bisa ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya pada potongan secara vertikal atau normal^[17].

Pada sebagian besar metode analisis, gaya normal diasumsi bekerja dipusat alas dari tiap potongan, sebab potongan tipis. Ini diterapkan pada sejumlah asumsi. Metode *Bishop* ini menggunakan asumsi (2n-1)^[17].

Prinsip dasarnya sebagai berikut^[17].

1. Kekuatan geser didefinisikan dengan menggunakan hubungan linear Mohr-Coulomb
2. Menggunakan keseimbangan normal.
3. Menggunakan keseimbangan tangensial.
4. Menggunakan keseimbangan momen



Gambar 2. Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan^[17]

Keterangan:

- W = Berat total pada irisan
- EL, ER = Gaya antar irisan yang bekerja secara horisontal pada penampang kiri dan kanan

- XL, XR = Gaya antar irisan yang bekerja secara vertikal pada penampang kiri dan kanan
- P = Gaya normal total pada irisan
- T = Gaya geser pada dasar irisan
- b = Lebar dari irisan
- l = Panjang dari irisan
- α = Sudut kemiringan lereng

Dengan memperhitungkan seluruh keseimbangan gaya maka rumus untuk faktor keamanan FK metode *Bishop* yaitu sebagai berikut^[18].

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \phi') \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2)$$

Di mana

- F : faktor aman
- θi : sudut (0)
- c' : kohesi tanah efektif (kN/m²)
- bi : lebar irisan ke-i (m)
- Wi : berat irisan tanah ke-i (kN)
- φ' : sudut gesek dalam efektif (0)
- μi : tekanan air pori irisan ke-i (kN/m²)
- ru : rasio tekanan air pori
- δ : berat volume tanah (kN/m²)
- μ : tekanan air pori (kN/m²)
- h : tinggi irisan rata - rata (m)

Rasio tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai^[17,18].

$$r_u = \frac{u}{W} = \frac{u}{\gamma h} \quad (3)$$

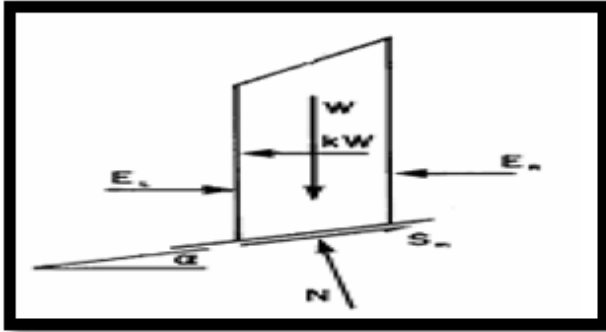
Dengan:

- ru = rasio tekanan pori
- u = tekanan air pori (Kn/m²)
- b = lebar irisan (m)
- γ = berat volume tanah (Kn/m³)
- h = tinggi irisan rata-rata (m)

Persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara *Bishop*^[18].

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + W_i (1 - r_u) \tan \phi'] \left(\frac{1}{\cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \phi' / F)} \right)}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (4)$$

Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horizontal tidak dapat dipenuhi.



Gambar 3. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode *bishop*^[18].

2.2.9. Usaha Mencegah Terjadinya LogSORAN

Apabila diketahui suatu lereng tidak stabil, maka perlu dilakukan usaha mengatasi gejala kelongsoran. Usaha ini dapat dilakukan dengan cara:

2.2.9.1. Memperkecil Gaya Penggerak

a. Mengurangi Ketinggian lereng

Pengurangan ketinggian lereng dilakukan dengan membuang sebagian massa tanah di bagian atas hingga lereng tersebut diperkirakan aman. Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan peralatan mekanis seperti *backhoe*, *bulldozer* dan *truck*^[19].

b. Memperkecil Kemiringan Lereng

Usaha mencegah kelongsoran dapat juga dilakukan dengan memperkecil kemiringan lereng seperti pada Gambar 5. Sudut lereng awal adalah α dan setelah dilandaikan menjadi β ^[19].

c. Menurunkan Muka Air Tanah dan Mengendalikan Air Permukaan.

Keberadaan air tanah akan menaikkan tekanan air pori. Ada dua cara yang biasa dilakukan untuk menurunkan muka air tanah, yaitu membuat sumur horizontal dan membuat sumur vertikal. Pada sumur vertikal, air tanah dikeluarkan dengan cara memompa, sedangkan pada sumur horizontal air mengalir melalui saluran yang telah dibuat^[19,20].

2.2.9.2. Peningkatan Gaya Penahan

Peningkatan gaya penahan ini dapat dilakukan dengan menggunakan *counterweight*, yaitu dengan menambahkan tanah pada kaki lereng Gambar 11 Tanah yang ditambah kemudian dipadatkan dengan alat mekanis seperti *roller*. Cara ini bertujuan untuk menambah gaya penahan di bagian bawah lereng^[21].

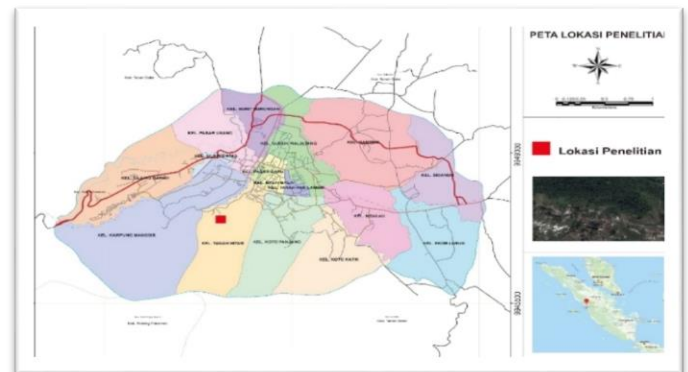
3. Metodologi Penelitian

3.1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk kedalam jenis penelitian terapan (*Applied Rresearch*). Penelitian terapan berfungsi untuk mencari solusi tentang masalah-masalah tertentu, tujuan utamanya adalah pemecah masalah sehingga hasil penelitian dapat dimanfaatkan untuk kepentingan manusia baik secara individu atau kelompok maupun keperluan industri atau politik dan bukan untuk wawasan keilmuan semata^[22].

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Bukit Tui yaitu lereng bukit kapur yang berjajar di selatan Padangpanjang, letaknya berada antara Rao-Rao hingga Tanah Hitam.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

3.3. Jenis Data dan Sumber Data Penelitian

Pada penelitian ini data primer didapat penulis dengan cara mengambil langsung data yang dibutuhkan di lapangan, sedangkan data sekunder didapat penulis dari berbagai sumber baik jurnal, media online serta instansi terkait Kota Padang Panjang.

3.3.1. Pengambilan Data di Lapangan

Adapun data yang didapatkan langsung dari lapangan yaitu sebagai berikut:

3.3.1.1. Geometri dan penampang lereng

Data yang diambil pada saat pengamatan geometri lereng yaitu: tinggi dan sudut kemiringan lereng. Tinggi lereng didapatkan dengan cara memarking dengan GPS titik di dasar lereng dan juga di puncak lereng kemudian nilai tinggi lereng didapatkan dengan mengurangi elevasi pada puncak lereng dengan dasar lereng. Sudut kemiringan lereng diukur dengan bantuan alat kompas geologi.

3.3.1.2. *Pengujian Laboratorium*

Pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi sifat fisik, dan sifat mekanik tanah.

a. Analisis Berat Jenis

Adapun perhitungan berat jenis, dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini^[23].

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \tag{5}$$

Keterangan :

G_s = *specific gravity*

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer + tanah kering

b. Analisis Kadar Air

Kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini^[23].

$$Kadar\ air = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \tag{6}$$

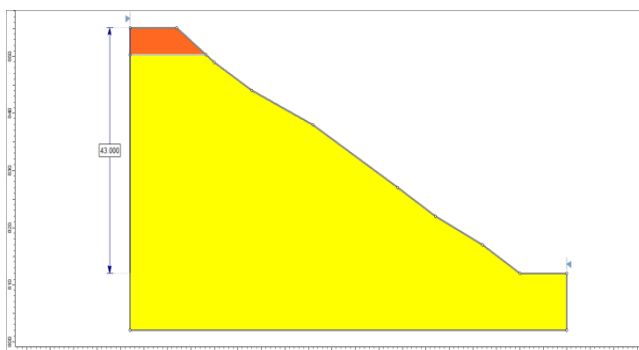
3.3.1.3. *Uji Sifat Mekanik*

Pengujian sifat mekanik dilakukan dengan cara pengujian kuat geser langsung pada tanah dengan menggunakan alat uji kuat geser langsung

4. Pembahasan

4.1. Geometri Lereng

Geometri Lereng Dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Geometri Lereng

4.2. Pengujian Berat Jenis Tanah

Adapun hasil dari pengujian berat jenis tanah dari sampel yang diambil dan diuji maka didapatkan hasilnya sebagai berikut disajikan dalam bentuk Tabel 1.

Tabel 1. Data dan Hasil Pengujian berat Jenis Tanah

Lapisan	Sampel	Berat pikno (W1) (gr)	Berat pikno+ tanah W2 (gr)	Berat pikno+ Tanah + Air W3 (gr)	Berat pikno+ Air W4 (gr)	Berat Jenis Tanah (G_s)	Berat Jenis Tanah Rata-Rata (G_s Rata-Rata)
Lapisan I	Sampel 1	38.57	62.4	152.92	137.56	2.81	2.77
	Sampel 2	39.64	62.34	152.97	138.63	2.72	
	Sampel 3	39.44	62.31	153.51	138.9	2.77	
Lapisan II	Sampel 1	38.57	62.69	152.54	137.47	2,67	2.70
	Sampel 2	39.64	64.02	151.75	136.36	2.71	
	Sampel 3	39.44	64.09	151.31	135.76	2.71	

4.3. Pengujian Kadar air

Adapun hasil dari pengujian Kadar Air dari sampel yang diambil dan diuji maka didapatkan hasilnya sebagai berikut disajikan dalam bentuk Tabel 2.

Tabel 2. Data dan Hasil Pengujian Kadar air

Lapisan	Sampel	Berat Cawan dan tanah / w1 (gr)	Berat Cawan dan tanah kering / w2 (gr)	Berat Cawan / w3 (gr)	Kadar Air (%)	Kadar Air Rata-Rata (%)
Lapisan I	Sampel 1	11.01	10.19	8.32	43.85	43.88
	Sampel 2	11.09	10.34	8.37	38.07	
	Sampel 3	11.1	10.22	8.45	49.72	
Lapisan II	Sampel 1	11.2	10.44	8.39	37.07	37.85
	Sampel 2	11.1	10.33	8.38	39.49	
	Sampel 3	11.16	10.42	8.42	37.00	

4.4. Pengujian Bobot Isi Tanah

Bulk density atau bobot isi menunjukkan perbandingan antara berat tanah dengan volume tanah termasuk volume pori-pori tanah. *Bulk density* merupakan petunjuk kepadatan tanah. Makin padat suatu tanah makin tinggi *bulk density*, yang berarti makin sulit meneruskan air atau menembus akar tanaman^[23].

Untuk analisis bobot isi tanah menggunakan rumus sebagai berikut^[23,24].

$$\text{Berat tanah} = W_s = W_2 - W_1 \tag{7}$$

$$\text{Berat isi Tanah} = \gamma = \frac{W_s}{V} \tag{8}$$

$$\gamma = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \tag{9}$$

Keterangan:

γ = Bobot Isi Tanah (gram/cm³)

W_s = Massa tanah (gram)

W_1 = Massa tanah + ring sampel (gram)

W_2 = Massa ring sampel (gram)

V = Volume ring sampel (cm³)

Adapun hasil dari pengujian bobot isi tanah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Bobot Isi Tanah

Koordinat	Sampel	Berat Cincin (gr)	Berat Cincin dan Tanah (gr)	Berat Tanah (gr)	Volume Sampel (cm ³)	Diameter Cincin (cm)	Tinggi Cincin (cm)
Lapisan I	Sampel 1	61.89	157.24	95.35	62.26	6.345	1.97
	Sampel 2	61.89	153.78	91.89	62.26	6.345	1.97
	Sampel 3	61.89	156.25	94.36	62.26	6.345	1.97
Lapisan II	Sampel 1	61.89	153.08	91.19	62.26	6.345	1.97
	Sampel 2	61.89	153.89	92.00	62.26	6.345	1.97
	Sampel 3	61.89	153.97	92.08	62.26	6.345	1.97

Untuk mendapatkan nilai bobot isi kering dan jenuh menggunakan rumus sebagai berikut^[23,24].

Bobot isi kering:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \tag{10}$$

Bobot isi jenuh

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e} \tag{11}$$

Dengan:

- γ_w = Bobot isi air (1 gr/cm³)
- γ_d = Bobot isi kering
- γ_{sat} = Bobot isi jenuh
- G_s = Berat Jenis
- e = Angka Pori

Nilai bobot isi tanah dalam kondisi asli, kering dan jenuh dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Bobot Isi asli, Kering, jenuh

Koordinat	Sampel	Bobot Isi Asli (gram/cm ³)	Bobot Isi Kering (gram/cm ³)	Bobot Isi Jenuh (gram/cm ³)
Lapisan I	Sampel 1	1.53	1.06	1.948
	Sampel 2	1.48	1.07	1.909
	Sampel 3	1.52	1.01	1.931
	Rata-rata	1.51	1.05	1.929
Lapisan II	Sampel 1	1.46	1.07	1.918
	Sampel 2	1.48	1.06	1.919
	Sampel 3	1.48	1.08	1.926
	Rata-rata	1.47	1.07	1.921

4.5. Uji Sifat Mekanik

Adapun uji sifat mekanik yang dilakukan adalah uji geser langsung (*direct shear test*). Kuat geser tanah merupakan kemampuan tanah melawan tegangan geser yang terjadi pada saat terbebani^[24].

Sedangkan nilai tegangan normal dan tegangan geser dihitung dengan rumus^[23, 24] :

$$\text{Tegangan geser } (\tau) = \frac{\text{Beban Geser } (S)}{\text{Luas Cetakan } (A)} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \tag{12}$$

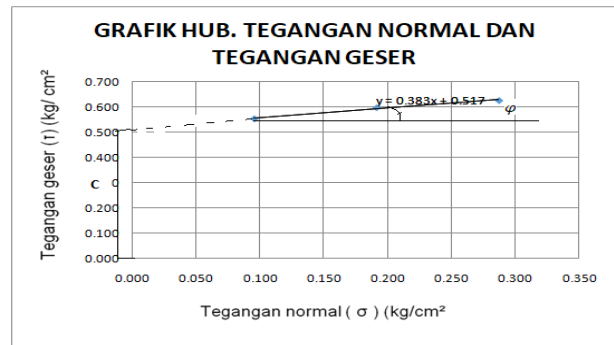
$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{\text{Beban normal } (N)}{\text{Luas Cetakan } (A)} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \tag{13}$$

Adapun hasil dari pengujian geser langsung dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Dan Hasil Uji Kuat Geser Tanah

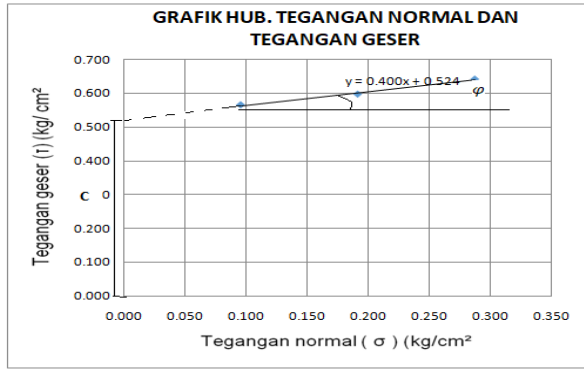
Lapisan I						
Percobaan 1						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	37	17.3	0,096	0,552	31,35
II	6	40	18.7	0,191	0,596	31,35
III	9	42	19.6	0,287	0,287	31,35
Percobaan 2						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	38	17.7	0,096	0,565	31,35
II	6	40	18.7	0,191	0,596	31,35
III	9	43	20.1	0,284	0,641	31,35
Lapisan II						
Percobaan 1						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	36	16.8	0,096	0,536	31,35
II	6	41	19.1	0,191	0,609	31,35
III	9	45	21	0,287	0,670	31,35
Percobaan 2						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	35	16.3	0,096	0,520	31,35
II	6	40	18.7	0,191	0,596	31,35
III	9	43	20.1	0,284	0,641	31,35

Adapun grafik hubungan tegangan geser (τ) dengan tegangan normal (σ) dapat dilihat sebagai berikut.



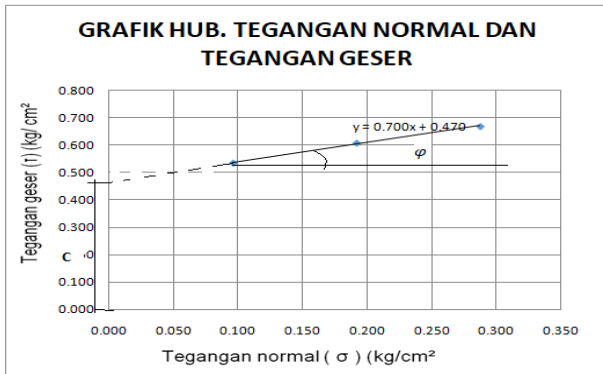
Gambar 6. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan I (Percobaan I)

Berdasarkan gambar 6 pada percobaan 1 didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar 0,517 kg/cm² = 50,70219 KN/m², dan nilai ϕ yang adalah 20,95°.



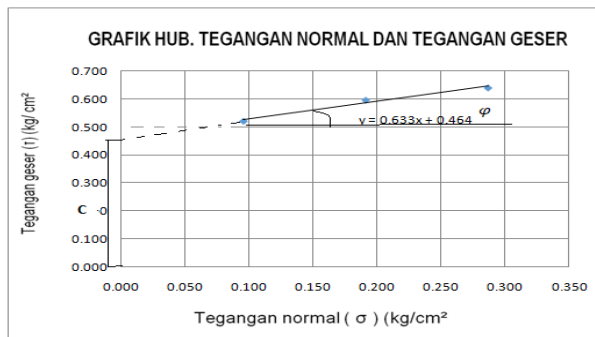
Gambar 7. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan I (Percobaan II)

Berdasarkan gambar 7 pada percobaan 2 didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar $0,524 \text{ kg/cm}^2 = 51,388 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $21,80^\circ$.



Gambar 8. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II (Percobaan I)

Berdasarkan gambar 8 pada percobaan 1 didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar $0,47 \text{ kg/cm}^2 = 46,389 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $34,99^\circ$.



Gambar 9. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II (Percobaan II)

Berdasarkan gambar 9 pada percobaan 2 didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar $0,464 \text{ kg/cm}^2 = 45,50448 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $32,33^\circ$.

Tabel 6. Nilai Kohesi dan Sudut geser Dalam

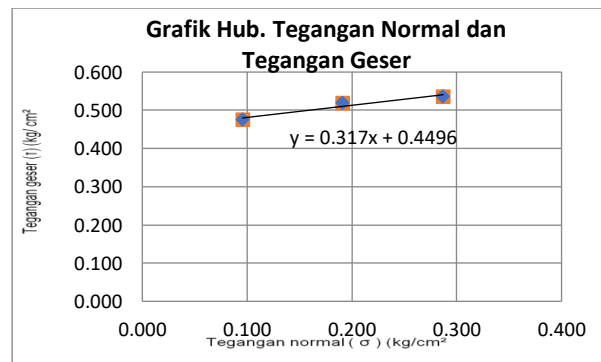
Lapisan I			
percobaan	Kohesi (kg/cm ²)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
I	0.517	50.70	20.95
II	0.524	51.38	21.80
Rata-rata	0.5205	51.04	21.375
Lapisan II			
percobaan	Kohesi (kg/cm ²)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
I	0.47	46.389	34.99
II	0.464	45.504	32.33
Rata-rata	0.467	45.94	33.66

4.6. Simulasi Laboratorium Peningkatan Kadar Air Terhadap Sifat Mekanik

Pada pengujian kuat geser ini dilakukan simulasi pengaruh kadar air dengan cara melakukan penambahan air secara bertahap terhadap sampel tanah. Simulasi dilakukan secara konstan dengan penambahan air sebesar 5% dari berat sampel setiap kali pengujian dilakukan. Dari hasil pengujian terlihat bahwa penambahan air hanya dapat dilakukan hingga 20 % dari berat sampelnya. Setelah itu sampel tidak dapat disimulasikan lagi karena kondisinya yang telah hancur.

4.6.1. Uji Kuat Geser dengan Penambahan Air 5%

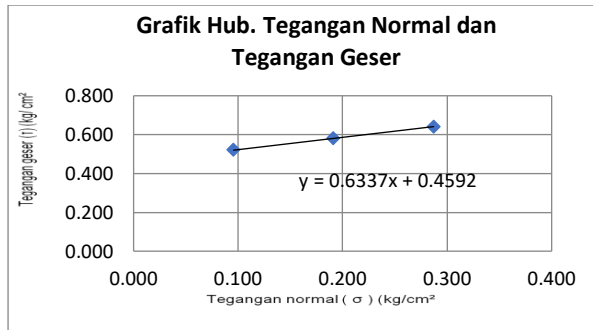
a. Lapisan I



Gambar 10. Grafik Tegangan geser – Tegangan Normal Lapisan I Penambahan 5%

Berdasarkan gambar 10 pada penambahan air 5% didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar $0,449 \text{ kg/cm}^2 = 44,03343 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $17,59^\circ$.

b. Lapisan II

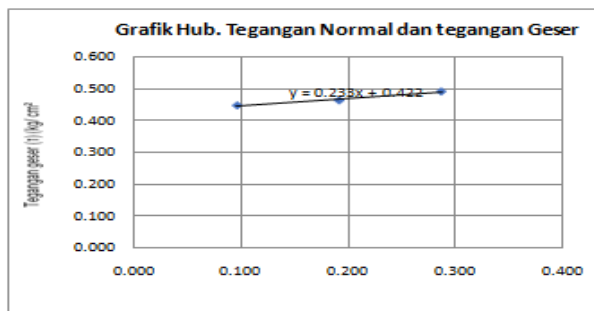


Gambar 11. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II Penambahan 5%

Berdasarkan gambar 11 pada penambahan air 5% didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar 0,459 kg/cm² = 44,1315 KN/m², dan nilai φ yang adalah 32,33⁰.

4.6.2. Uji Kuat Geser dengan Penambahan Air 10%

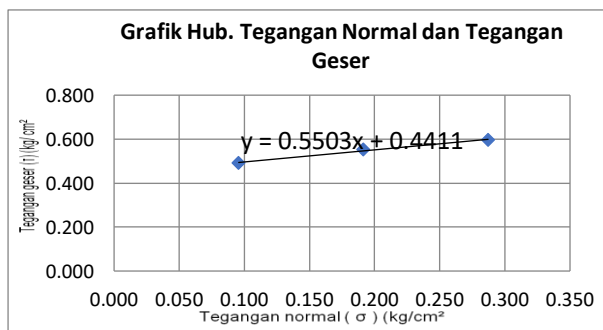
a. Lapisan I



Gambar 12. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan I Penambahan 10%

Berdasarkan gambar 12 pada penambahan air 10% didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar 0,422 kg/cm² = 41,3854 KN/m², dan nilai φ yang adalah 13,115⁰.

b. Lapisan II

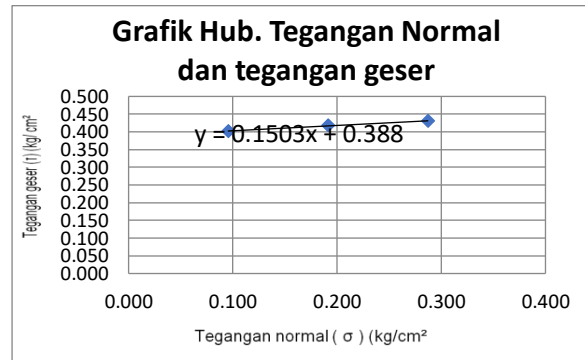


Gambar 13. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II Penambahan 10%

Berdasarkan gambar 13 pada penambahan air 10% didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar 0.441 kg/cm² = 43.24887 KN/m², dan nilai φ yang adalah 28.81⁰.

4.6.3. Uji Kuat Geser dengan Penambahan Air 15%

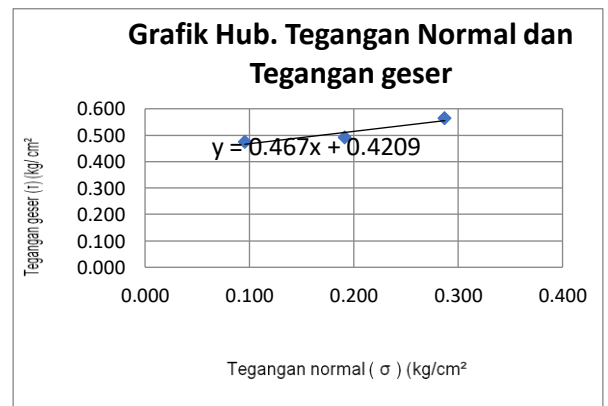
a. Lapisan I



Gambar 14. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan I Penambahan 15%

Berdasarkan gambar 14 pada penambahan air 15% didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar 0,388 kg/cm² = 38,051 KN/m², dan nilai φ yang adalah 8,53⁰.

b. Lapisan II

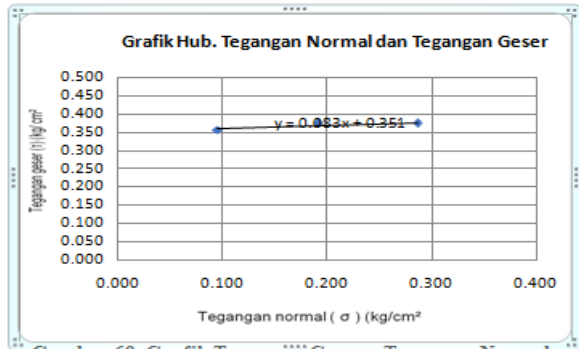


Gambar 15. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II Penambahan 15%

Berdasarkan gambar 15 pada penambahan air 15% didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar 0,42 kg/cm² = 41,1894 KN/m², dan nilai φ yang adalah 25,03⁰.

4.6.4. Uji Kuat Geser dengan Penambahan Air 20%

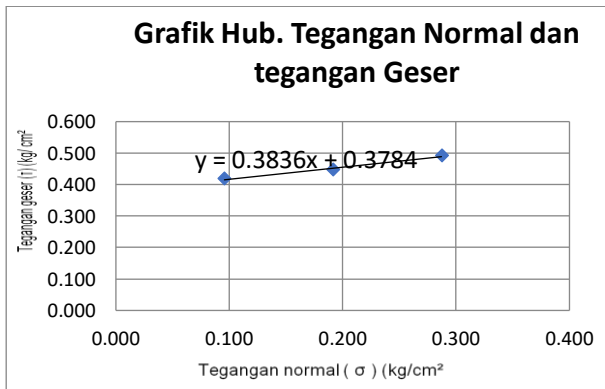
a. Lapisan I



Gambar 16. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan I Penambahan 20%

Berdasarkan gambar 16 pada penambahan air 20% didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar $0,351 \text{ kg/cm}^2 = 34,42257 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $4,74^\circ$.

b. Lapisan II



Gambar 17. Grafik Tegangan geser - Tegangan Normal Lapisan II Penambahan 20%

Berdasarkan gambar 17 pada penambahan air 20% didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar $0,378 \text{ kg/cm}^2 = 37,07046 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $20,8^\circ$.

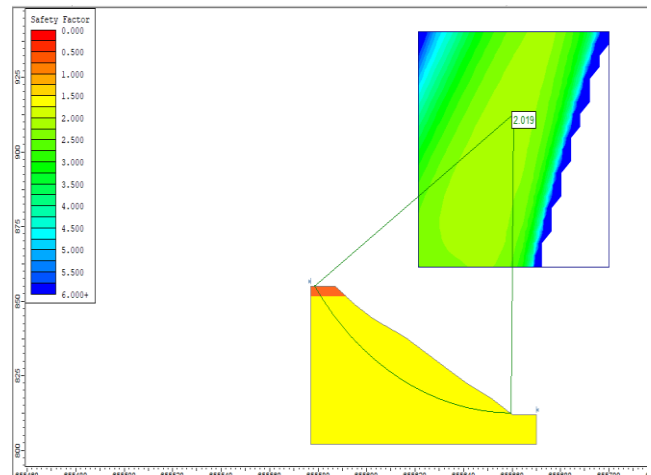
Berikut adalah tabel rangkuman dari pengaruh hasil simulasi penambahan air terhadap parameter mekanik dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Tabel Rangkuman Hasil Simulasi Kadar Air Terhadap Sifat Mekanik

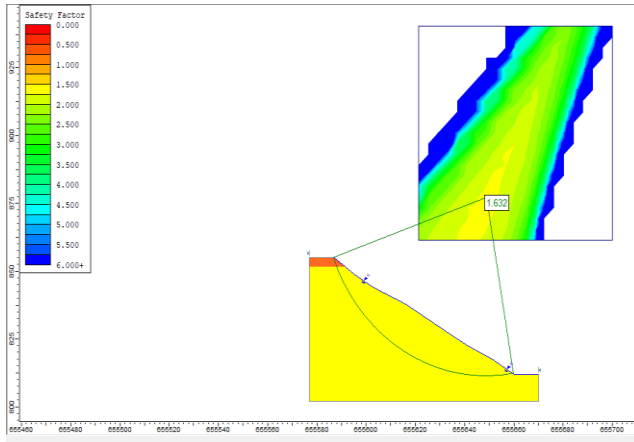
Koordinat	Kadar Air (%)	Sifat Mekanik		Keterangan
		Kohesi	Sudut Geser Dalam	
Lapisan I	43,88	51,04	21,38	Asli
	46,25	44,03	17,59	Simulasi
	48,84	41,38	13,11	
	53,91	38,05	8,53	
	57,65	34,42	4,74	
	>57,65 - 100			Tidak Dapat Disimulasikan Lagi
Lapisan II	37,85	45,94	33,66	Asli
	39,47	44,13	32,33	Simulasi
	41,15	43,24	28,81	
	44,88	41,18	25,03	
	47,12	37,07	20,80	
	>47,12 - 100			Tidak Dapat Disimulasikan Lagi

4.7. Faktor Keamanan Lereng

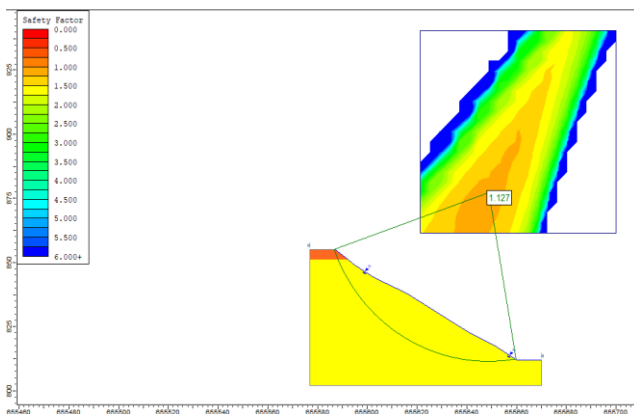
Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang. Berikut hasil analisis FK lereng pada *software Slide V6.0* dapat dilihat pada Gambar 18-20 berikut ini.



Gambar 18. FK Penampang Kondisi Kering



Gambar 19. FK Penampang Kondisi Asli



Gambar 20. FK Penampang Kondisi Jenuh

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang. Berikut hasil analisis FK lereng pada software Slide V6.0 dapat dilihat pada Tabel 8 berikut:

Tabel 8. Rekapitulasi Nilai FK Lereng Penelitian

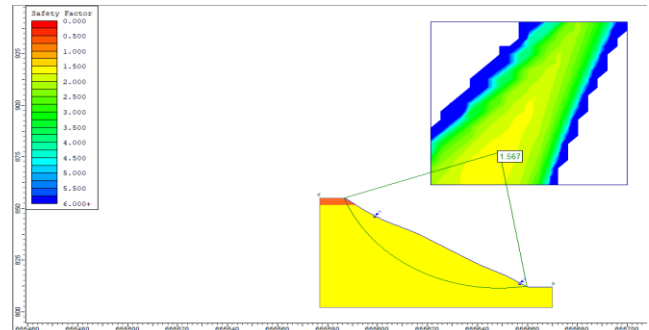
No	Kondisi	Nilai Faktor Keamanan
1	Kering	2,019
2	Asli	1.632
3	Jenuh	1.127

4.8. Hasil Simulasi Penambahan Air

Untuk mengetahui lebih jauh mengenai pengaruh kadar air terhadap parameter mekanik (Kohesi dan Sudut Geser Dalam), maka dibuat simulasi kasus penambahan air terhadap stabilitas lereng tunggal dengan menggunakan perangkat lunak *Slide*. Berdasarkan data bobot isi asli, kohesi, dan sudut geser dalam lereng tanah yang diperoleh dari pengujian sifat fisik dan pengujian kuat geser langsung. Simulasi penambahan air dilakukan pada pengujian kuat geser dengan cara melakukan penambahan

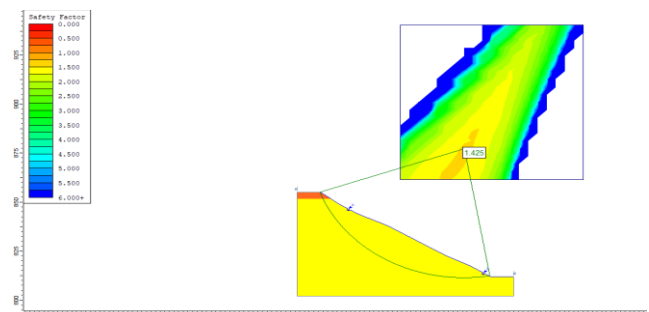
air secara bertahap terhadap sampel tanah. Simulasi dilakukan secara konstan dengan penambahan air sebesar 5% dari berat sampel setiap kali pengujian dilakukan

4.8.1. Simulasi Penambahan 5%



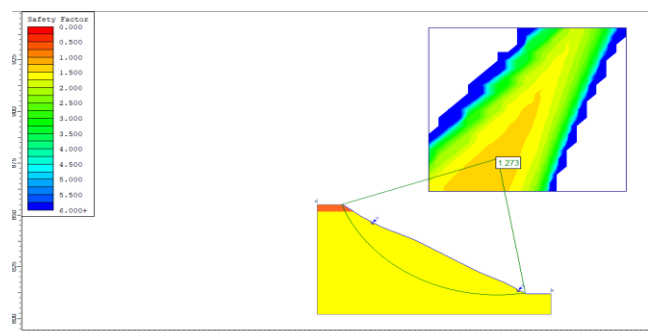
Gambar 21. FK Penampang dengan Simulasi Penambahan Air 5%

4.8.2. Simulasi Penambahan 10%



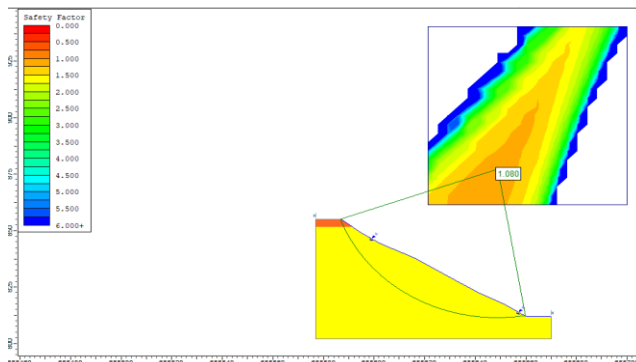
Gambar 22. FK Penampang dengan Simulasi Penambahan Air 10%

4.8.3. Simulasi Penambahan 15%



Gambar 23. FK Penampang dengan Simulasi Penambahan Air 15%

4.8.4. Simulasi Penambahan 20%



Gambar 24. FK Penampang dengan Simulasi Penambahan Air 20%

Dari hasil analisis, didapatkan nilai FK pada Masing-masing simulasi penambahan air. Berikut hasil analisis FK lereng pada masing-masing simulasi penambahan air pada software Slide V6.0 dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Hasil Simulasi Nilai FK Berdasarkan Kadar Air

Kondisi Penambahan Kadar Air (%) Lapisan I	Kondisi Penambahan Kadar Air (%) Lapisan II	FK Lereng
43,88	37,85	1,632
46,25	39,47	1,567
48,84	41,15	1,425
53,91	44,88	1,273
57,65	47,12	1,080

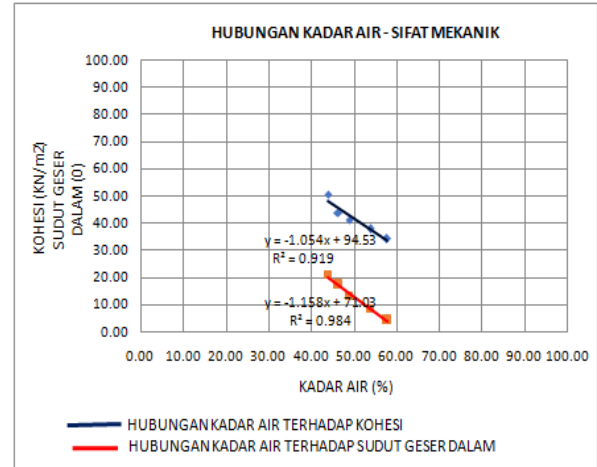
4.9. Analisis Regresi Linear

4.9.1. Hubungan Kadar Air Dengan Parameter Mekanik

Hubungan antara kadar air dengan parameter mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) perlu dianalisis, untuk melihat seberapa besar pengaruh antara kedua variable tersebut. Adapun hasil analisis regresi linear pada masing-masing lapisan yaitu sebagai berikut.

4.9.1.1. Lapisan I

Adapun hubungan antara kadar air dengan parameter mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) dapat dilihat pada gambar 25 berikut ini:



Gambar 25. Grafik Hubungan Kadar Air – Parameter Mekanik Lapisan I

Hubungan kadar air dengan sifat mekanik didapatkan dengan memplot data uji kadar air dan sifat mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) ke dalam grafik pencar (scatter plot). Pada gambar 25 memperlihatkan bahwa regresi linier cukup representatif untuk menggambarkan hubungan antar variabel tersebut karena grafik cenderung membentuk garis lurus (linier).

Untuk persamaan regresi linear kadar air dengan kohesi yaitu sebagai berikut: $Y = -1,054x + 94,53$ dengan $R^2 = 0,919$.

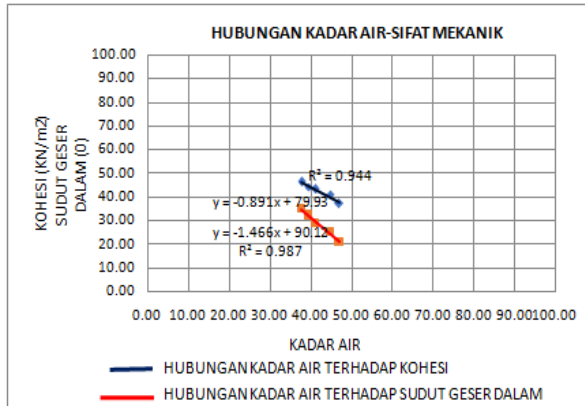
Dengan Y adalah kohesi dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,919$. Hubungan kadar air dengan kohesi memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai kohesi.

Untuk persamaan regresi linear kadar air dengan sudut geser dalam yaitu sebagai berikut: $Y = -1,158x + 71,03$ dengan $R^2 = 0,984$.

Dengan Y adalah sudut geser dalam dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,984$. Hubungan kadar air dengan sudut geser dalam memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai sudut geser dalam.

4.9.1.2. Lapisan II

Adapun hubungan antara kadar air dengan parameter mekanik (kohesi dan sudut geser dalam) dapat dilihat pada gambar 26.



Gambar 26. Grafik Hubungan Kadar Air – Parameter Mekanik Lapisan II

Untuk persamaan regresi linear kadar air dengan kohesi yaitu sebagai berikut: **$Y = -0,891x + 79,93$ dengan $R^2 = 0,944$.**

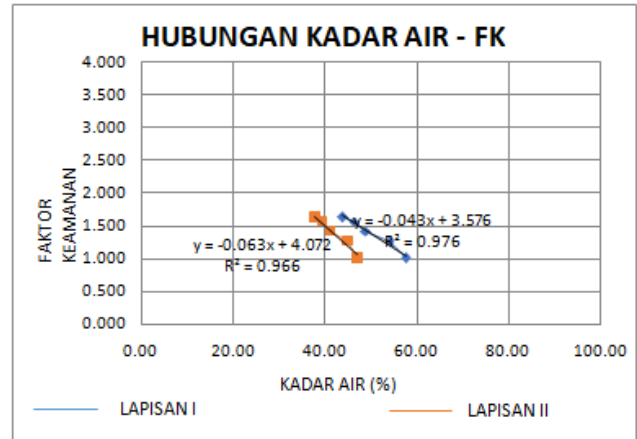
Dengan Y adalah kohesi dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,944$. Hubungan kadar air dengan kohesi memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai kohesi.

Untuk persamaan regresi linear kadar air dengan sudut geser dalam yaitu sebagai berikut: **$Y = -1,466x + 90,12$ dengan $R^2 = 0,987$.**

Dengan Y adalah sudut geser dalam dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,984$. Hubungan kadar air dengan sudut geser dalam memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai sudut geser dalam.

4.9.2. Hubungan Kadar Air dengan Faktor Keamanan

Hubungan antara kadar air dengan faktor keamanan perlu dianalisis, untuk melihat seberapa besar pengaruh antara kedua variable tersebut. Adapun hasil analisis regresi linear antara kadar air dengan faktor keamanan yaitu sebagai berikut.



Gambar 27. Grafik Hubungan Kadar Air – FK

Hubungan kadar air dengan FK lereng didapatkan dengan memplot data uji kadar air dan FK lereng ke dalam grafik pencar (*scatter plot*). Gambar 27 memperlihatkan bahwa regresi linier cukup representatif untuk menggambarkan hubungan antar variabel tersebut karena grafik cenderung membentuk garis lurus (linier).

Dari Gambar 80 didapatkan persamaan hubungan kadar air terhadap nilai FK lereng pada masing-masing lapisan sebagai berikut:

Lapisan I : **$Y = -0,043x + 3,576$ dengan $R^2 = 0,976$**

Dengan Y adalah Faktor Keamanan (FK) dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,976$. Hubungan kadar air dengan FK lereng memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai FK.

Lapisan II : **$Y = -0,063x + 4,072$ dengan $R^2 = 0,966$**

Dengan Y adalah Faktor Keamanan (FK) dan X adalah kadar air. Persamaan empiris tersebut memperlihatkan hubungan yang sangat kuat (sempurna), hal ini ditandai dengan nilai $R^2 = 0,966$. Hubungan kadar air dengan FK lereng memperlihatkan hubungan berbanding terbalik yang berarti peningkatan nilai kadar air menyebabkan penurunan terhadap nilai FK.

Dari grafik terlihat bahwa pada lapisan I dan lapisan II ketika kadar air lapisan I berkisar antara 43,88 % s.d. 53,91 % dan kadar air lapisan II 37,85 % s.d. 44,88 nilai FK > 1,25 yang berarti kondisi lereng dalam kategori aman. Ketika kadar air lapisan I 57,65% dan kadar air lapisan II 44,88 nilai FK > 1,0 ; < 1,25 yang berarti kondisi lereng dalam kategori kritis hingga tidak aman (longsor)

4.10. Nilai Kadar Air yang Mampu Ditahan

Berdasarkan hasil regresi linear antara pengaruh Kadar Air terhadap Faktor Keamanan pada masing-masing lapisan didapatkan persamaan sebagai berikut:

Lapisan I : $Y = -0,043x_1 + 3,576$
 Lapisan II : $Y = -0,063x_2 + 4,072$
 Dengan : $Y = \text{Faktor Keamanan}$
 $X_1 = \text{Kadar Air Lapisan I}$
 $X_2 = \text{Kadar Air Lapisan II}$

Berdasarkan persamaan yang didapat maka dapat ditentukan besarnya kadar air maksimal yang mampu ditahan pada saat nilai Faktor Keamanan berada tepat di 1.25, yang berarti diambil pada saat FK aman dan nilai FK terkecil (masih aman). Kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Persamaan 1: $Y = -0.043x_1 + 3.576$

Di mana $Y = 1.25$
 $Y = -0.043x_1 + 3.576$
 $1.25 = -0.043x_1 + 3.576$
 $0.043x_1 = 3.576 - 1.25$
 $0.043x_1 = 2.326$
 $x_1 = \frac{2.326}{0.043}$
 $x_1 = 54,09$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai x_1 sebesar 54.09 %, yang berarti bahwa nilai kadar air maksimal yang masih bisa ditahan oleh lereng adalah sebesar 54.09 %.

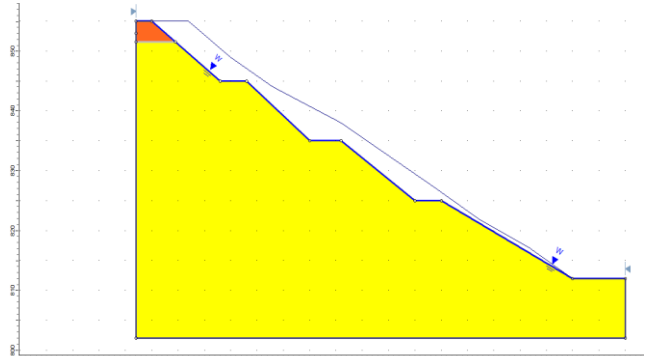
Persamaan 2: $Y = -0,063x_2 + 4,072$

Di mana $Y = 1.25$
 $Y = -0,063x_2 + 4,072$
 $1.25 = -0,063x_1 + 4,072$
 $0.063x_1 = 4,072 - 1,25$
 $0.063x_1 = 2,822$
 $x_1 = \frac{2.822}{0.063}$
 $x_1 = 44,79$

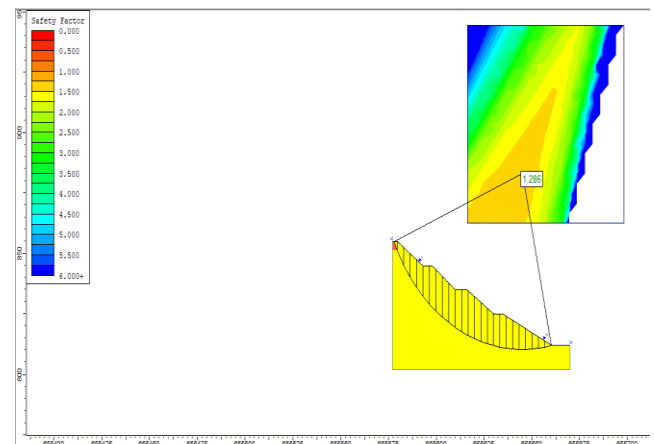
Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan nilai x_1 sebesar 44.79 %, yang berarti bahwa nilai kadar air maksimal yang masih bisa ditahan oleh lereng adalah sebesar 44.79 %.

4.11. Rekomendasi Desain Aman

4.11.1. Metode Pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang



Gambar 28.. Rekomendasi Desain Lereng Aman Menggunakan Metode Pengurangan Kemiringan Lereng dengan Jenjang



Gambar 29. Analisis FK Berdasarkan Rekomendasi pada Kadar Air Tertinggi

Berdasarkan hasil analisis dengan menerapkan pembuatan sistem jenjang yang terdiri dari tiga jenjang, yaitu pada jenjang bagian atas dengan ketinggian 15 m dan kemiringan 38°, pada jenjang kedua dengan ketinggian 10,003 m dan kemiringan 40°, dan pada jenjang terakhir dengan ketinggian 10 m dan kemiringan 36°. Hasil analisis didapatkan FK = 1,286; berdasarkan Bowles (2000) FK tergolong aman.

Dengan demikian rekomendasi desain lereng aman yang dianjurkan adalah dengan pembuatan 3 jenjang sebagaimana yang terdapat pada gambar 29.

4.11.2. Penanggulangan Muka Air Tanah Pada Lereng

Hasil simulasi kondisi muka air tanah (MAT) pada lereng penelitian dapat dilihat pada tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil Rekapitulasi nilai FK rekomendasi

No.	Kondisi MAT	Nilai Faktor Keamanan
1	Kering	1.323
2	¼ H	1.277
3	½ H	1.112
4	Jenuh	1.015

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

- Geometri lereng penelitian berdasarkan hasil survey dan pengambilan data, secara umum ketinggian lereng dan kemiringan lereng sebesar 43 meter dengan sudut kemiringan lereng rata-rata 57° dan material penyusun terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan pertama berupa lempung dan lapisan kedua berupa lempung berpasir.
- Berdasarkan hasil uji laboratorium, didapatkan nilai parameter sifat fisik dan mekanik sebagai berikut.
 - Sifat Fisik
 - Kadar Air
Nilai kadar air untuk lapisan I yaitu sebesar 43,88% dan untuk lapisan II yaitu sebesar 37,85%
 - Berat Jenis
Nilai Berat Jenis Untuk Lapisan I yaitu sebesar 2,77 dan untuk lapisan II yaitu sebesar 2,70.
 - Bobot Isi
Nilai bobot Isi untuk lapisan I yaitu Sebesar $1,929 \text{ gram/cm}^3$ dan lapisan II yaitu sebesar $1,921 \text{ gram/cm}^3$
 - Sifat Mekanik
Uji laboratorium yang dilakukan pada uji sifat mekanik yaitu uji kuat geser langsung. Untuk lapisan I dengan nilai kohesi yaitu $51,04 \text{ KN/m}^2$ dan sudut geser dalam yaitu $21,375^\circ$, dan untuk lapisan II dengan nilai kohesi $45,94 \text{ KN/m}^2$ dan sudut geser dalam yaitu $33,66^\circ$
- Berikut adalah tabel rangkuman dari pengaruh hasil simulasi penambahan air terhadap parameter mekanik (kohesi dan sudut geser dalam)

Koordinat	Kadar Air (%)	Sifat Mekanik		Keterangan
		Kohesi	Sudut Geser Dalam	
Lapisan I	43,88	51,04	21,38	Asli
	46,25	44,03	17,59	Simulasi
	48,84	41,38	13,11	
	53,91	38,05	8,53	
	57,65	34,42	4,74	
	>57,65 -100			Tidak Dapat Disimulasikan Lagi
Lapisan II	37,85	45,94	33,66	Asli
	39,47	44,13	32,33	Simulasi
	41,15	43,24	28,81	
	44,88	41,18	25,03	
	47,12	37,07	20,80	
		>47,12 -100		

Berdasarkan hasil analisis pada tabel dapat dilihat hasil simulasi penambahan air menyebabkan terjadinya penurunan nilai kohesi dan sudut geser dalam, dan membuktikan bahwa keberadaan air sangat berpengaruh terhadap parameter mekanik (kohesi dan sudut geser dalam).

- Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng kondisi kering adalah 2,019. Nilai faktor keamanan (FK) lereng kondisi asli adalah 1,632. Dan nilai faktor keamanan (FK) lereng kondisi jenuh adalah 1,127.
- Berdasarkan hasil analisis simulasi penambahan air, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng kondisi masing-masing penambahan air sebagai berikut. Penambahan air 5% dengan FK adalah 1.567. Penambahan air 10% dengan FK adalah 1.425. Penambahan air 15% dengan FK adalah 1.273. Penambahan air 20% dengan FK adalah 1.080
- Rekomendasi untuk desain lereng aman menggunakan metode pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang yang terdiri dari tiga jenjang, yaitu pada jenjang bagian atas dengan ketinggian 15 m dan kemiringan 38° , pada jenjang kedua dengan ketinggian 10.003 m dan kemiringan 40° , dan pada jenjang terakhir dengan ketinggian 10 m dan kemiringan 36° . Hasil analisis didapatkan FK = 1,286; berdasarkan Bowles (2000) FK tergolong aman. Selain melakukan pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang, untuk meningkatkan nilai faktor keamanan (FK) lereng, dapat juga dilakukan penurunan muka air tanah (MAT) dengan pemasangan sumur horizontal dan pembuatan saluran air.

5.2. Saran

- Kepada masyarakat area sekitar lereng penelitian baik masyarakat dan pengguna jalan

raya, supaya berhati-hati di area sekitar lereng terutama pada saat hujan.

2. Kepada pemerintah daerah Kota Padang Panjang dan dinas terkait, supaya melakukan upaya peningkatan kesetabilan lereng di area lokasi penelitian, upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan upaya pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang, dan penanggulangan muka air tanah (MAT)
3. Perlu adanya rambu-rambu bahaya longsor sebagai pengetahuan bagi masyarakat tentang keadaan lereng.
4. Perlu dilakukan analisis pada lereng dengan metode berbeda sebagai pembanding agar analisis yang didapatkan lebih meyakinkan.

Daftar Pustaka

- [1] Hustrulid, W., M. Kucta & R Martin. *Open Pit Mine Planning & Design* 3rd. (ed). London: CRC Press (2006).
- [2] Kesbangpol dan BPBD Kota Padang Panjang. 2018. *Peta Geologi Kota Padang Panjang*. Kota Padang Panjang
- [3] Hardiyatmo, Hary Christady. *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press (2010).
- [4] I. Rusydy dkk. *Analisis Kestabilan Lereng Batu di Jalan Raya Lhoknga Km 17,8 Kabupaten Aceh Besar*. Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan, **Vol. 27, No. 2** (2017).
- [5] Noor, Djauhari. *Pengantar Geologi*. Bogor. Universitas Pakuan (2012).
- [6] Suharyadi. *Pengantar Geologi Teknik*. Yogyakarta. Universitas Malang (2006).
- [7] Wyllie, Duncan C., & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press. London (2004).
- [8] R.B. Pratamadkk. *Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsor Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150 – Sta 3+200, Karanganyar)*. Jurnal Karya Teknik Sipil, **Vol. 3, No. 3** (2014).
- [9] M.D. Braja. *Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 1,2. Erlangga. Jakarta (1995).
- [10] M.D. Braja. *Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 1,2. Erlangga. Jakarta (1995).
- [11] D.C. Wyllie, C.W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press London (2004).
- [12] M.G. Anderson, K.SRichard. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*. John Wiley and Sons (1987).
- [13] G.G. Kosim, Maryanto, D. Guntoro. *Analisis Balik Longsor Low Wall Pit B3 di Tambang Batubara PT BJA menggunakan Metode Probabilistik Monte Carlo*. Prosiding Teknik Pertambangan, ISSN: 2460-6499, **Vol. 2, No. 1** (2015).
- [14] Andah, M.T. Toha, D. Sudarmono. *Analisis Kestabilan Lereng Menggunakan Metode Slope Mass Rating dan Metode Stereografis pada Pit Berenai PT. Dwinad Nusa Sejahtera (Sumatera Copper and Gold) Kabupaten Musi Rawas Utara Provinsi Sumatera Selatan*. Jurnal Pertambangan ISSN 2549-1008, **Vol. 1, No. 5** (2017).
- [15] T. Korah, A.E. Turangan, A.N. Sarajar. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Janbu (Studi Kasus Kawasan Citraland)*. Jurnal Sipil Statik ISSN : 2337-6732, **Vol. 2, No. 1** (2014).
- [16] E. Hoek, John Bray. *Rock Slope Engineering*. London: Taylor & Francis Routledge (1981).
- [17] O. Cherianto, A.E. Turangan, S. Monintja. *Analisis Kestabilan Lereng Dengan Metode Bishop (Studi Kasus Kawasan Citraland sta.1000m)*. Jurnal Sipil Statik ISSN: 2337-6732, **Vol. 2, No. 3** (2014).
- [18] A.W. Bishop. 1955. *The Use of Slip Circle in The Stability Analysis of Slopes*, Geotechnique, **Vol. 5, No.1** (1955).
- [19] B.M. Das. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta : Erlangga (1994).
- [20] I.G.N Wardana. *Pengaruh Perubahan Muka Air Tanah dan Terasering Terhadap Perubahan Kestabilan Lereng*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil ISSN : 2541-5484, **Vol. 15, No. 1** (2011).
- [21] A.S. Wardhana. *Analisa Stabilitas Lereng dengan Metode Counterweight Lokasi STA 25+750 Ruas Jalan Sp.Perdau-Batu Ampar*. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur, **Vol. 1, No. 2** (2013).
- [22] N. Martono. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jakarta : Rajawali Pers (2016).
- [23] J.E. Bowles. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1 (Edisi 4)*. Jakarta: Erlangga (1988).
- [24] S. Hardjowigeno. *Ilmu Tanah*. Jakarta : Akademia Presindo (2002).