

Analisis Kesetabilan Lereng Studi Kasus Area Tambang Rakyat di Bukit Tui S0°28'43.15" E100°24'16.24"-S0°28'43.15" E100°24'15.28" Kecamatan Padang Panjang Barat Kabupaten Padang Panjang

Helky Sandra^{1*}, Yoszi Mingsi Anaperta^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*helkysandra@gmail.com

**yoszi_mingsi@yahoo.com

Abstract. Tui Hill is a limestone hill lined south of Padang Panjang, located between Rao-Rao Village to Tanah Hitam. The results of research at Tui Hill at the location S0 ° 28'43.15 "E100 ° 24'16.24" - S0 ° 28'43.15 "E 100 ° 24'15.28" located in Tanah Hitam Village has a covered dolomite rock slope. Based on the situation that occurs there are several factors that can relate to avalanches. such as rainfall, steep slope geometry, high excavation and earthquake vibration. The potential for landslides on the research slopes could endanger dolomite miners in the slope location. In addition, material due to landslides can cause road closures to obstruct road user traffic. This study aims to analyze and make treatment recommendations so that slope conditions become safe / stable. Safe slope analysis is based on the value of the safety factor (FK), namely Bowles, that (FK) so that the stable slope is $FK > 1.25$. Based on the results of the analysis and calculations it was found that the value of the slope safety factor (FK) on the A-A 'section is 2,631 and the B-B' section is 2,342. Based on the results of the analysis, it was found that the value of the slope safety factor (FK) in the A-A 'is 2,200 and B-B' section is 1,943.

Keywords: Slope Stability Analysis, Safety Factor, Earthquake Vibration, Plane Failure, Slope Soil

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 peneliti pada lereng Bukit Tui di lokasi S0°28'43.15"E100°24'16.24" - S0°28'43.15"E

100°24'15.28" yang berada di Kelurahan Tanah Hitam terdapat lereng batuan dolomit tertutup tanah. Pada bagian bawah lereng terdapat penggalian dolomit oleh masyarakat sekitar. Lokasi lereng berada di tepi jalan sekitar.

Kondisi lereng penelitian yang tinggi dan terjal disertai batuan yang tertutup tanah menjadi salah satu faktor yang dapat menyebabkan terjadinya longsor. Tinggi dan 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^[1].

Potensi akan terjadinya longsor pada lereng penelitian dapat membahayakan masyarakat penambang dolomit di lokasi lereng. Selain itu, material akibat longsor dapat menyebabkan tertutupnya jalan sehingga menghambat lalu lintas pengguna jalan.

Karena berbahayanya dampak longsor maka perlu adanya solusi untuk mencegah terjadinya longsor. Untuk mencegah terjadinya longsor dapat dilakukan melalui penelitian sebagai mitigasi terhadap bencana longsor. Berdasarkan hasil studi literatur, pada lokasi penelitian belum adanya penelitian yang mengkaji kondisi kesetabilan lereng.

Faktor keamanan lereng perlu diketahui untuk memastikan apakah lereng tersebut aman bagi aktivitas masyarakat di sekitar lereng. Jika lereng diketahui dalam keadaan kurang aman maka perlu dilakukan analisis kembali tentang bagaimana menentukan perkuatan terhadap lereng ataupun geometri yang sesuai dengan lereng tersebut^[2].

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai stabilitas lereng di lokasi penelitian. Sehingga dapat ditentukan usaha yang bisa dilakukan untuk stabilisasi lereng yang optimum dan efektif. Dengan demikian, dapat mencegah terjadinya korban jiwa maupun kerugian akibat longsor.

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^[3].

Luas wilayah Kota Padang panjang adalah 2.300 Ha atau sekitar 0,05% dari luas Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis Padang panjang terletak antara $100^{\circ} 20'$ dan $100^{\circ} 27'$ Bujur Timur serta $0^{\circ} 27'$ dan $0^{\circ} 30'$ Lintang Selatan. Titik longsor tempat dilakukan penelitian terdapat pada $S0^{\circ} 28' 45,4''$ E $100^{\circ} 24' 18,2''$ - $S0^{\circ} 28' 45,0''$ E $100^{\circ} 24' 19,4''$ dengan elevasi 790 m^[3].



Gambar 1. Peta Kesempaihan Daerah

2.2. Teori Dasar

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].

Perubahan kestabilan lereng dapat terjadi akibat pengangkatan, penurunan, penggalian, penimbunan, erosi, atau aktivitas lain disekitar lereng tersebut. Untuk mengatasi perubahan itu, lereng akan berusaha untuk mencapai kondisi stabil yang baru secara alamiah. Cara ini biasanya berupa proses degradasi atau pengurangan beban, terutama dalam longsor-longoran atau gerakan-gerakan lain sampai tercapai keadaan kesetimbangan yang baru^[5].

Secara umum faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng diantaranya :

2.2.1. 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^[6].

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*)^[6].

Rancangan geoteknik lereng biasanya dinyatakan dalam bentuk parameter-parameter diantaranya^[6]:

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.

2.2.2. Sifat Fisik dan Mekanik Material

Sifat fisik batuan meliputi bobot isi, porositas, kadar air, angka pori, derajat kejenuhan, *specific 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^[7].

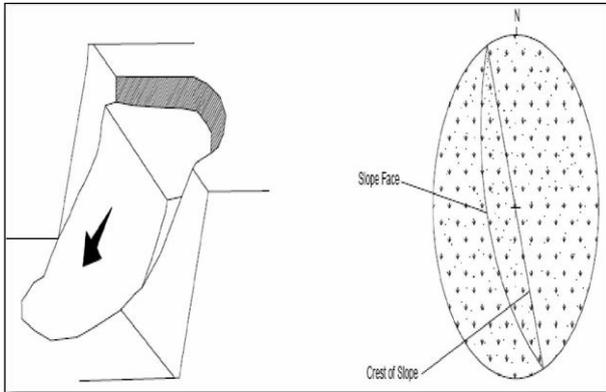
Sedangkan sifat mekanik tanah berupa kuat geser, kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam dan kohesi tanah berpengaruh terhadap kuat geser massa tanah tersebut. Kuat tekan tanah akan mempengaruhi kekuatan tanah terhadap gangguan kestabilan lereng^[7,8].

2.2.3. Jenis - Jenis Longsor

Adapun jenis-jenis longsor diantaranya yaitu longsor busur, longsor bidang, longsor baji dan longsor guling^[9].

2.2.3.1 Longsor Busur (Circular Failure)

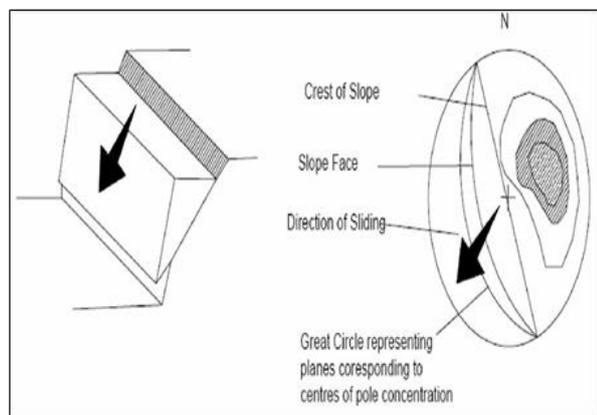
Jenis longsor ini adalah yang paling umum terjadi di alam (tipikal longsor tanah/soil). Pada batuan yang keras, jenis longsor ini hanya dapat terjadi jika batuan tersebut sudah lapuk dan mempunyai bidang-bidang diskontinu yang rapat (*heavily jointed*), atau menerus sepanjang sebagian lereng sehingga menyebabkan longsor geser di permukaan^[9,10]. Longsor busur dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Longsor Busur^[9]

2.2.3.2 Longsor Bidang (Plane Failure)

Longsor jenis ini terjadi pada batuan yang mempunyai bidang lurus bebas (*day light*) yang mengarah ke lereng dan bidang luncurnya pada bidang diskontinu seperti: sesar, kekar, liniasi atau bidang perlapisan. Fenomena lainnya yang memicu longsor jenis ini yaitu bila sudut lereng lebih besar dari sudut bidang lurus serta sudut geser dalam lebih kecil dari sudut bidang luncurnya. Biasanya terjadi pada permukaan lereng yang cembung dengan kemiringan bidang kekar rata-rata hampir atau searah dengan kemiringan lereng^[9,10,11]. Longsor bidang dapat dilihat pada Gambar 3.

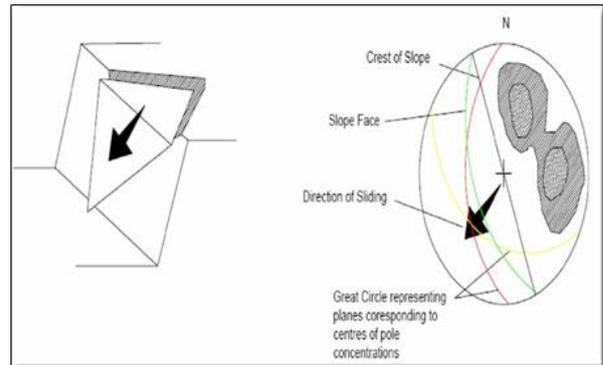


Gambar 3. Longsor Bidang^[9]

2.2.3.3 Longsor Baji (Wedge Failure)

Model longsor ini hanya bisa terjadi pada batuan yang mempunyai lebih dari satu bidang lemah atau bidang diskontinu yang bebas, dengan sudut antara kedua bidang

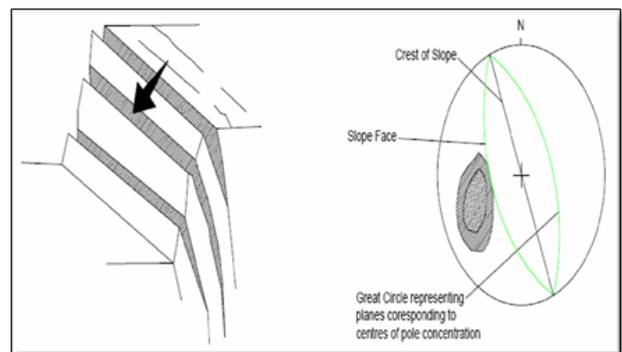
tersebut membentuk sudut yang lebih besar dari sudut geser dalamnya. Fenomena yang paling sering terjadi adalah garis perpotongan dua bidang kekar mempunyai kemiringan ke arah kemiringan lereng^[10,11]. Longsor baji dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Longsor Baji^[9]

2.2.3.4 Longsor Guling (Toppling Failure)

Longsor *toppling* akan terjadi pada lereng yang terjal pada batuan keras dengan bidang-bidang diskontinu yang hampir tegak atau tegak, dan longsor dapat berbentuk blok atau bertingkat. Bila longsor terjadi pada massa batuan yang kuat dengan fenomena kekar yang relatif tegak, maka rekahan tariknya akan melendut terus dan miring ke arah kemiringan lereng^[11,12]. Longsor guling dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Longsor Guling^[9]

2.2.4. 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^[13].

Secara sistematis faktor keamanan suatu lereng dapat ditulis dengan rumus sebagai berikut^[14]:

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

Dengan penentuan, jika:
 FK > 1,0 : Lereng dalam kondisi stabil.
 FK < 1,0 : Lereng tidak stabil
 FK = 1.0 : Lereng dalam kondisi kritis.

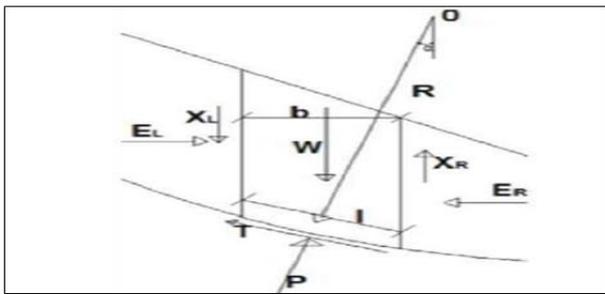
2.2.5. Analisis Kesatabilan Lereng Tanah dengan Metode Bishop

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^[15].

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)^[15].

Prinsip dasarnya sebagai berikut^[15].

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



Gambar 6. Gaya-gaya yang bekerja pada suatu potongan^[15]

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^[16].

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

Dimana:

F : faktor aman

- θ_i : sudut (0)
- c' : kohesi tanah efektif (kN/m^2)
- b_i : lebar irisan ke-i (m)
- W_i : berat irisan tanah ke-i (kN)
- ϕ' : sudut gesek dalam efektif (0)
- μ_i : tekanan air pori irisan ke-i (kN/m^2)
- r_u : rasio tekanan air pori
- δ : berat volume tanah (kN/m^2)
- μ : tekanan air pori (kN/m^2)
- h : tinggi irisan rata - rata (m)

Rasio tekanan pori (*pore pressure ratio*) didefinisikan sebagai^[15,16].

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

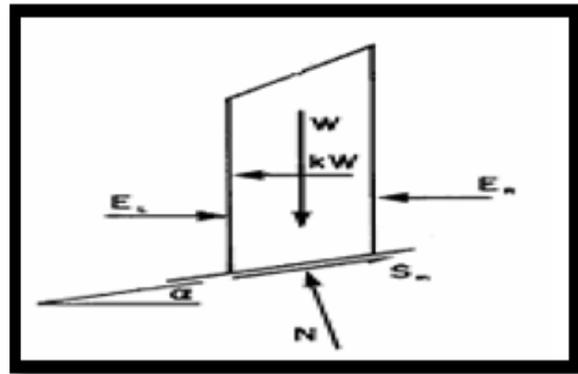
Dengan:

- r_u = rasio tekanan pori
- u = tekanan air pori (Kn/m^2)
- b = lebar irisan (m)
- γ = berat volume tanah (Kn/m^3)
- h = tinggi irisan rata-rata (m)

Persamaan faktor aman untuk analisis stabilitas lereng cara *Bishop*^[16].

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

Sedangkan kesetimbangan gaya dalam arah horisontal tidak dapat dipenuhi.



Gambar 7. Gaya-gaya yang bekerja pada irisan metode *bishop*^[16]

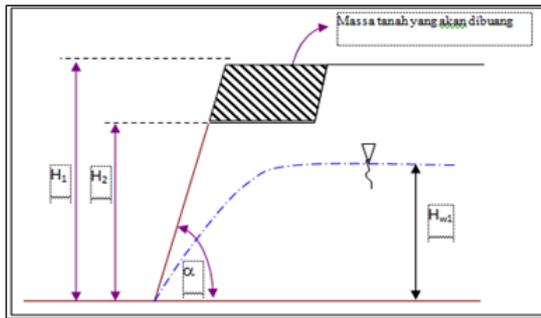
2.2.6. Usaha Mencegah Terjadinya Longsoran

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

2.2.6.1 Memperkecil Gaya Penggerak

- a. Mengurangi Ketinggian Lereng
 Pengurangan ketinggian lereng dilakukan dengan membuang sebagian massa tanah di bagian atas

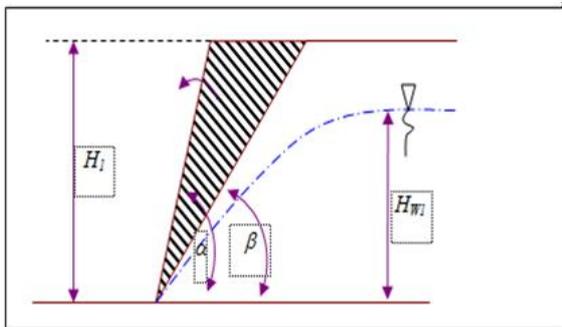
hingga lereng tersebut diperkirakan aman. Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan peralatan mekanis seperti *backhoe*, *bulldozer* dan *truck* [17].



Gambar 8. Pengurangan Tinggi Lereng [17]

b. Memperkecil Kemiringan Lereng

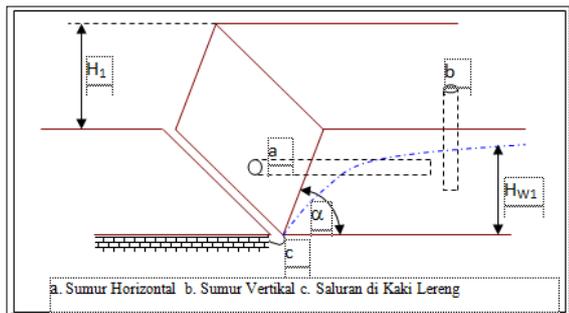
Usaha mencegah kelongsoran dapat juga dilakukan dengan memperkecil kemiringan lereng seperti pada Gambar 9. Sudut lereng awal adalah α dan setelah dilandaikan menjadi β . Memperkecil kemiringan lereng dapat dilihat pada Gambar 9 [17].



Gambar 9. Pengurangan Kemiringan Lereng [17]

c. Menurunkan Muka Air Tanah dan Mengendalikan Air Permukaan

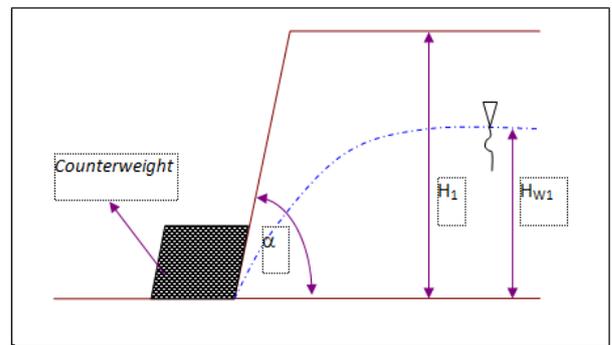
Keberadaan air tanah akan menaikkan tekanan air pori. Ada dua cara yang biasa dilakukan untuk menurunkan muka air tanah, yaitu membuat sumur horizontal dan membuat sumur vertikal (Gambar 10). Pada sumur vertikal, air tanah dikeluarkan dengan cara memompa, sedangkan pada sumur horizontal air mengalir melalui saluran yang telah dibuat [17,18].



Gambar 10. Penurunan Tinggi Muka Air Tanah [18]

2.2.6.2 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 [19].



Gambar 11. Sistem Counterweight [19]

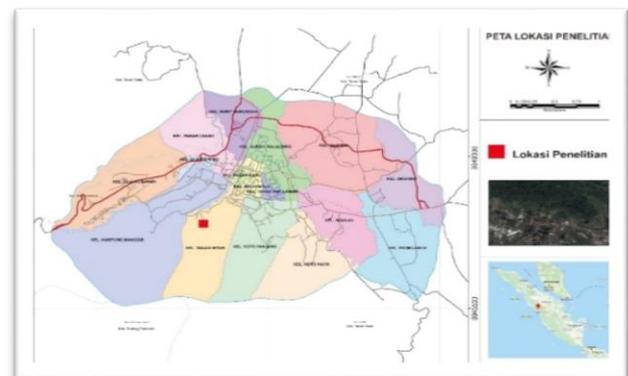
3 Metodologi Penelitian

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 [20].

3.2. Lokasi Penelitian

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



Gambar 12. 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:

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.

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^[21].

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

Keterangan :

- G_s = specific gravity
- W₁ = berat piknometer (gram)
- W₂ = berat piknometer + tanah kering (gram)
- W₃ = berat piknometer + tanah kering

b) Analisis Kadar Air

Kadar air dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini^[21].

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (6)$$

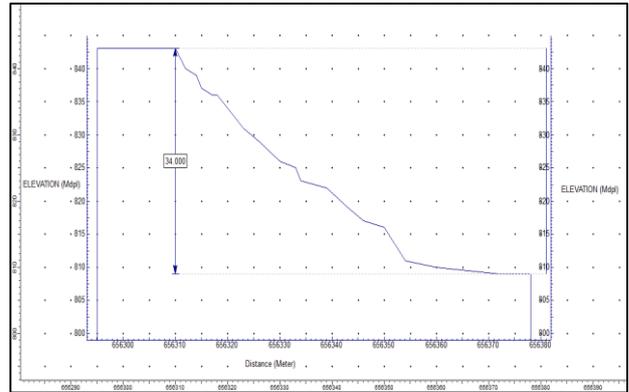
3. Uji Sifat Mekanik

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

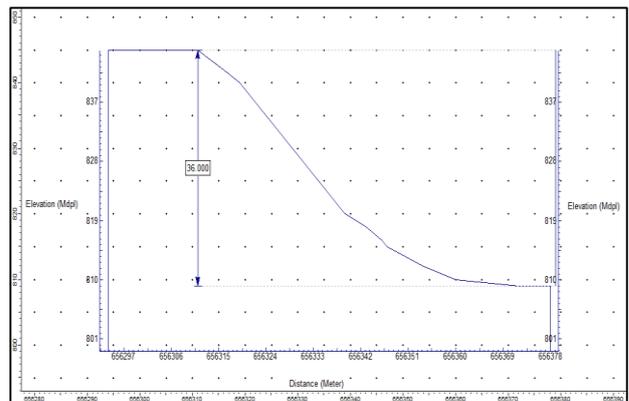
4 Analisis dan Pembahasan

4.1. Geometri Lereng

Geometri Lereng A-A' dan Geometri lereng B-B' Dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14.



Gambar 13. Geometri Lereng A-A'



Gambar 14. Geometri Lereng B-B'

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

Sampel	Berat Pikno (W1), gram	Berat Pikno + Tanah (W2), gram	Berat Pikno + Tanah + Air (W3), gram	Berat Pikno + Air (W4), gram	Berat Jenis (Gs)
A	37,5	62,77	153,25	137,2	2,74
B	39,65	65,14	154,72	138,48	2,76
C	37,86	64,57	154,45	13,3	2,73
Rata-Rata	38,34	64,16	154,14	137,66	2,74

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

Sampel	Berat Cawan + Tanah (W1), gram	Berat Cawan + Tanah Kering (W2), gram	Berat Cawan (W3), gram	Berat Air (gram)	Berat Tanah Kering (gram)	Vtotal tanah (Volume Ring) cm ³
1	117,69	94,80	8,35	22,90	86,45	62,26
2	118,94	95,94	8,37	23,00	87,57	62,26
4	116,87	94,69	8,44	22,19	86,25	62,26
5	115,16	92,11	8,56	23,05	83,55	62,26
3	115,32	93,33	8,59	21,99	84,74	62,26
6	113,96	91,55	8,33	22,41	83,22	62,26

Berdasarkan data hasil pengujian di atas dilakukan perhitungan nilai kadar air dan derajat kejenuhan. Sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Kadar Air dan Derajat Kejenuhan

Sampel	V solid (Vs) cm ³	V pori (Vv) cm ³	V Air (Vw) cm ³	V Udara (Va) cm ³	Kadar Air (%)	Derajat Kejenuhan (S)
1	31,51	30,75	22,90	7,85	26,49	0,74
2	31,92	30,34	23,00	7,34	26,26	0,76
3	30,89	31,37	22,19	9,19	25,72	0,71
4	31,44	30,82	23,05	7,77	27,59	0,75
5	30,45	31,80	21,99	9,81	25,95	0,69
6	30,33	31,92	22,41	9,51	26,93	0,70
Rata-Rata	31,09	31,17	22,59	8,58	26,49	0,73

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^[22].

Untuk analisis bobot isi tanah menggunakan rumus sebagai berikut^[21, 22].

$$\text{Berat tanah} = W_s = W_2 - W_1 \quad (7)$$

$$\text{Berat isi Tanah} = \gamma = \frac{W_s}{V} \quad (8)$$

$$\gamma = \frac{(W_2 - W_1)}{V} \text{ (gram/cm}^3\text{)} \quad (9)$$

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 4.

Tabel 4. Nilai Bobot Isi Tanah

No. Sampel	Berat Cincin (gr)	Berat Cincin dan Tanah Basah (gr)	Berat Tanah Basah (Ww) gr	Berat Tanah Kering (Ws) gr	Berat Air (gr)	Vtotal (Volume Ring) cm ³
1	62,6	171,94	109,34	86,45	22,90	62,26
2	62,6	173,17	110,57	87,57	23,00	62,26
4	62,6	171,03	108,43	86,25	22,19	62,26
5	62,6	169,20	106,60	83,55	23,05	62,26
3	62,6	169,33	106,73	84,74	21,99	62,26
6	62,6	168,23	105,63	83,22	22,41	62,26
Rata-Rata	62,60	170,48	108,88	85,30	22,59	62,26

Untuk mendapatkan nilai bobot isi kering dan jenuh menggunakan rumus sebagai berikut^[21, 22].

Bobot isi kering:

$$\gamma_d = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (10)$$

Bobot isi jenuh:

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

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 5.

Tabel 5. Nilai Bobot Isi Asli, Kering, Jenuh

Sampel	Bobot Isi Asli (gram/cm ³)	Bobot Isi Kering (gram/cm ³)	Bobot Isi Jenuh (gram/cm ³)
1	1,76	1,39	1,88
2	1,78	1,41	1,89
3	1,74	1,36	1,86
4	1,71	1,39	1,88
5	1,71	1,34	1,85
6	1,70	1,34	1,85
Rata-Rata	1,73	1,37	1,87

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^[22].

Sedangkan nilai tegangan normal dan tegangan geser dihitung dengan rumus^[21, 22] :

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

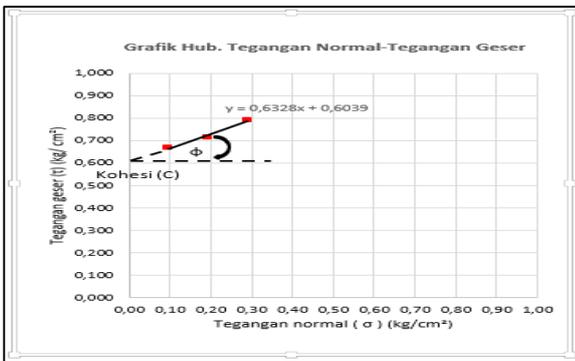
$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{\text{Beban normal } (N)}{\text{Luas Cetakan } (A)} \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (13)$$

Adapun hasil dari pengujian geser langsung dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Data dan Hasil Uji Kuat Geser Tanah

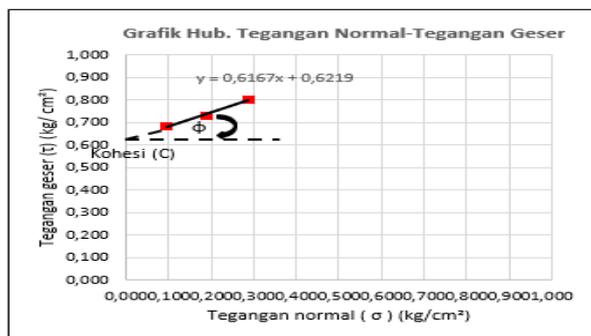
Sampel HD_01						
No. Pengujian	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Luas Cetakan (A) (cm ²)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)
1	3	45	21,0	31,35	0,096	0,670
2	6	48	22,4	31,35	0,191	0,714
3	9	53	24,7	31,35	0,288	0,792
Sampel HD_02						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Luas Cetakan (A) (cm ²)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)
I	3	46	21,5	31,35	0,096	0,686
II	6	49	22,9	31,35	0,191	0,730
III	9	54	25,2	31,35	0,287	0,804
Sampel HD_03						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Luas Cetakan (A) (cm ²)	Tegangan Normal (Σ)	Tegangan Geser (T)
I	3	47	21,9	31,35	0,096	0,698
II	6	52	24,3	31,35	0,191	0,775
III	9	55	25,7	31,35	0,287	0,820

Adapun grafik hubungan tegangan geser (τ) dengan tegangan normal (σ) dapat dilihat pada Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17.



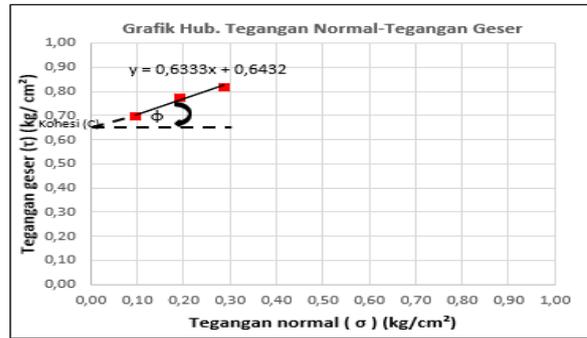
Gambar 15. Grafik Tegangan Geser–Tegangan Normal Tanah HD-01

Berdasarkan Gambar 15 didapatkan nilai c tanah lapisan I sebesar $0,604 \text{ kg/cm}^2 = 59,235 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ yang adalah $32,3^\circ$.



Gambar 16. Grafik Tegangan Geser–Tegangan Normal Tanah HD-02

Berdasarkan Gambar 16 didapatkan nilai c tanah lapisan II sebesar $0,6219 \text{ kg/cm}^2 = 61,000 \text{ KN/m}^2$, sedangkan nilai ϕ adalah $31,7^\circ$.



Gambar 17. Grafik Tegangan Geser–Tegangan Normal Tanah HD-03

Berdasarkan Gambar 17 didapatkan nilai c tanah lapisan III sebesar $0,6432 \text{ kg/cm}^2 = 63,552 \text{ KN/m}^2$, sedangkan nilai ϕ adalah $32,7^\circ$.

Nilai kohesi dan sudut geser dalam tiap lapisan tanah rata-rata dapat dilihat di Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Kohesi Dan Sudut Geser Dalam

Sampel	Nilai Parameter Mekanik		Sudut Geser Dalam (ϕ)
	Kohesi (C) Kg/Cm ²	Kohesi (C) KN/m ²	
HD-01	0,604	59,2347393	32,3
HD-02	0,6219	61,0003053	31,7
HD-03	0,6432	63,0895584	32,3
Rata-Rata	0,623	61,108201	32,1

Adapun dari hasil pengujian sampel dilaboratorium maka dapat disimpulkan sebagai berikut lihat Tabel 8. Hasil Uji Material Sampel Tanah.

Tabel 8. Hasil Uji Material Sampel Tanah

Pengujian	Parameter	Nilai
Sifat Fisik	Kadar Air	26,49%
	Derajat Kejenuhan	0,73
	Berat Jenis	2,74
	Bobot Isi Asli	1,73 gr/cm ³
	Bobot Isi Kering	1,37 gr/cm ³
	Bobot Isi Jenuh	1,87 gr/cm ³
Sifat Mekanik	Kohesi	0,623 Kg/cm ²
	Sudut Geser Dalam	32,1°

4.6. Nilai Faktor Keamanan (FK) Lereng Aktual Pada Lokasi Penelitian

Analisa lereng untuk mendapatkan berapa nilai faktor keamanan optimal dengan parameter kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi material serta kondisi air tanah yang nantinya akan dapat dipertimbangkan untuk evaluasi kemandapan lereng pada area penambangan. Berikut parameter sifat fisik dan mekanik material yang menjadi

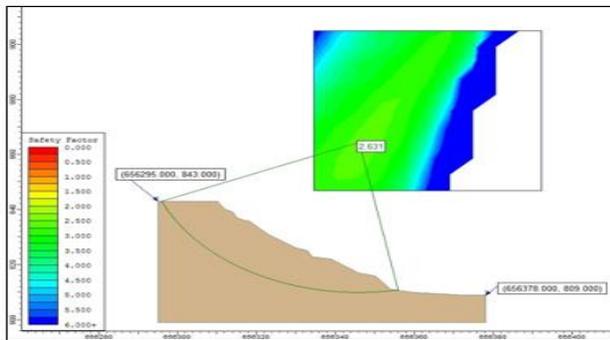
data input pada analisis faktor keamanan (FK) lereng dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Analisis Parameter Lereng *Soil Tunggal*.

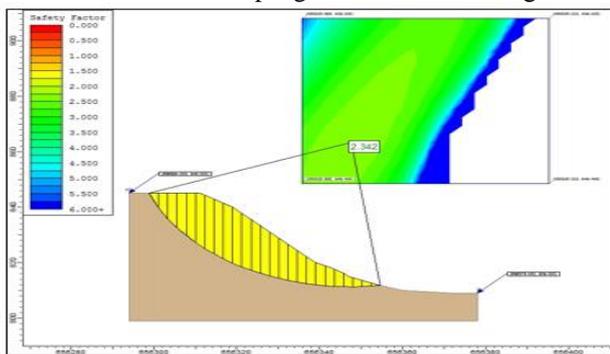
Material	Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng				
	Sifat Fisik			Sifat Mekanik	
	Bobot Isi Asli (gr/cm ³)	Bobot Isi Kering (gr/cm ³)	Bobot Isi Jenuh (gr/cm ³)	Kohesi (gr/cm ²)	Sudut Geser (°)
Warna: coklat kehitaman, Butiran: halus dan disertai kerikil	1,73	1,37	1,87	0,623	32,1

4.7. Faktor Keamanan Lereng

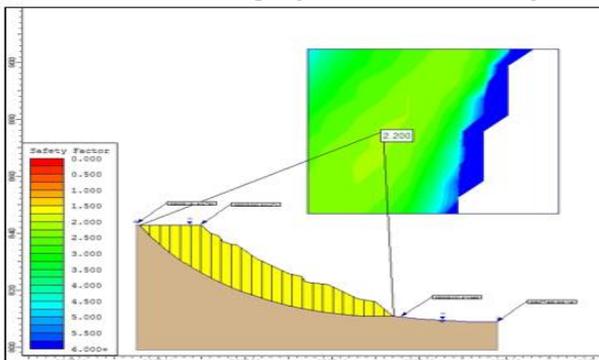
Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang A-A' dan penampang B-B' Berikut hasil analisis FK lereng pada software Slide V6.0 dapat dilihat pada Gambar 18 – Gambar 23 berikut ini.



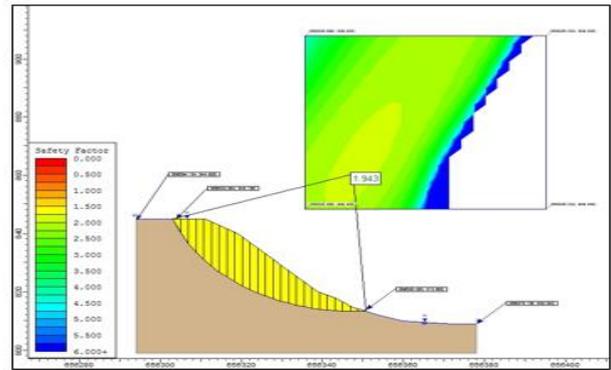
Gambar 18. FK Penampang A-A' Kondisi Kering



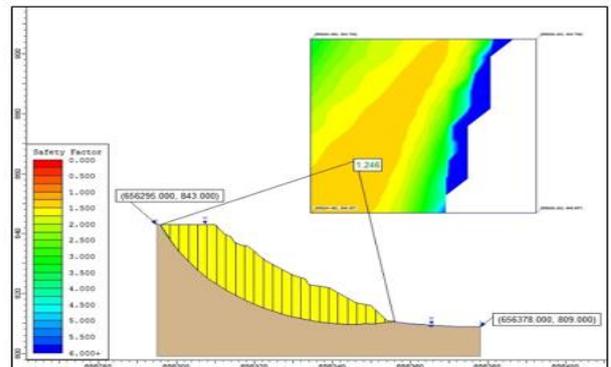
Gambar 19. FK Penampang B-B' Kondisi Kering



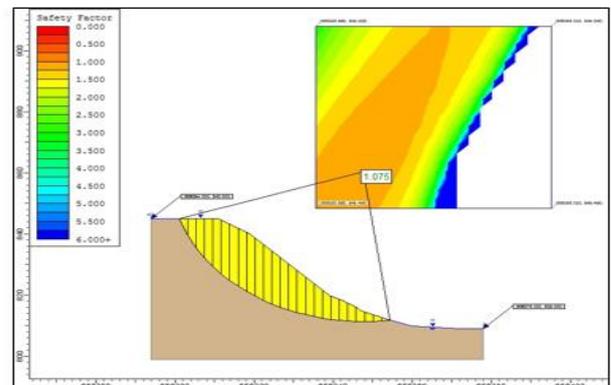
Gambar 20. FK Penampang Lereng A-A' Kondisi Asli



Gambar 21. FK Penampang Lereng B-B' Kondisi Asli



Gambar 22. FK Penampang A-A' Kondisi Jenuh



Gambar 23. FK Penampang B-B' Kondisi Jenuh

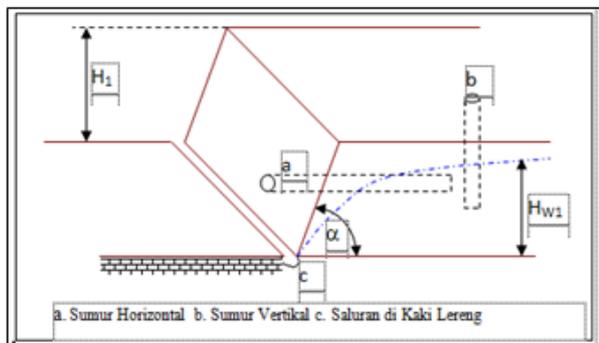
Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang A-A' dan penampang B-B' Berikut hasil analisis FK lereng pada software Slide V6.0 dapat dilihat pada Tabel 10 berikut:

Tabel 10. Rekapitulasi Nilai FK Lereng Penelitian

No.	Kondisi	Nilai Faktor Keamanan (FK)	
		A-A'	B-B'
1	Kering	2,631	2,342
2	Asli	2,200	1,943
3	Jenuh	1,246	1,075

4.8. Rekomendasi Meningkatkan Nilai Faktor Keamanan Lereng

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 dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Rekomendasi Cara Pengurangan Air Tanah MAT

Berdasarkan peta zonasi getaran gempa di Indonesia diketahui bahwa nilai getaran gempa di Kota Padang Panjang adalah berkisar 0,8-0,9g. , pada bagian sub bab ini selain dilakukan pengecekan adanya pengurangan muka air tanah (MAT), juga dilakukan pencarian nilai getaran gempa yang mampu ditahan oleh lereng pada masing-masing kondisi muka air tanah (MAT).

Pencarian nilai getaran gempa maksimal yang dapat ditahan didapatkan berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan hubungan getaran gempa terhadap nilai faktor keamanan (FK). Pengecekan nilai getaran meliputi pada kondisi 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 Dari hasil pengecekan tersebut didapatkan persamaan hubungan getaran gempa terhadap nilai faktor keamanan (FK).

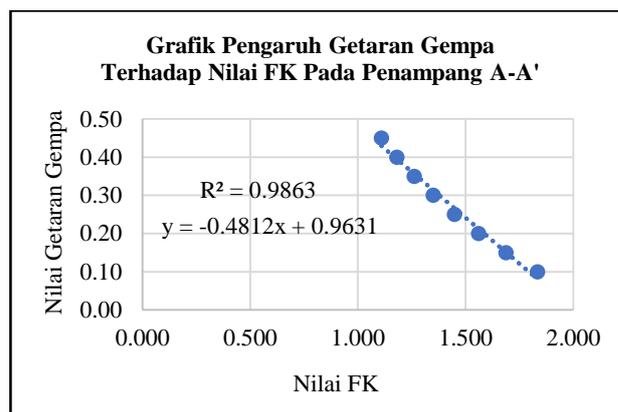
4.8.1 Lereng Kondisi Asli Penampang A-A'

Pada lereng kondisi asli penampang A-A' dilakukan simulasi pengaruh getaran gempa terhadap nilai FK seperti Tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,835	0,10
2	1,689	0,15
3	1,562	0,20
4	1,450	0,25
5	1,351	0,30
6	1,262	0,35
7	1,182	0,40
8	1,110	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik pengaruh getaran gempa terhadap nilai FK, sehingga kita dapat persamaan untuk mencari pada getaran tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng.



Gambar 25. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada Penampang A-A'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,4812X + 0,9631 \quad (14)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa

x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,4812 \times 1,25) + 0,9631)$$

$$y = 0,36g$$

Maka dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,36g yang masih sanggup ditahan oleh lereng pada penampang A-A'.

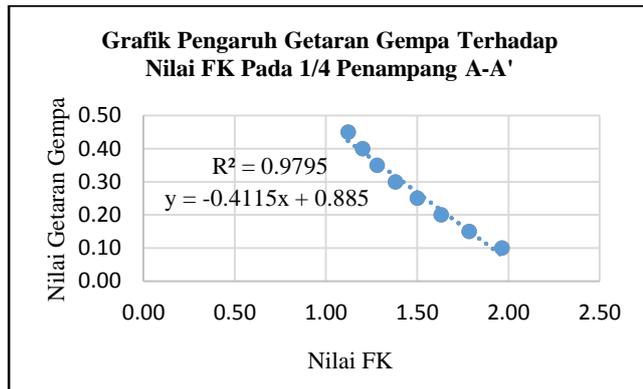
4.8.2 Lereng Dalam Kondisi Muka Air Tanah ¼ Penampang A-A'

Hasil pengecekan lereng kondisi muka air tanah ¼ ketika menerapkan getaran gempa sebesar 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 pada penampang A-A' dapat dilihat pada Tabel 12 berikut ini.

Tabel 12. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,964	0,10
2	1,783	0,15
3	1,631	0,20
4	1,500	0,25
5	1,380	0,30
6	1,280	0,35
7	1,200	0,40
8	1,120	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik pengaruh getaran gempa terhadap nilai FK, sehingga kita dapat persamaan untuk mencari pada getaran tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng.



Gambar 26. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada ¼ Penampang A-A'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,4115X + 0,885 \quad (15)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa

x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,4115 \times 1,25) + 0,885)$$

$$y = 0,37g$$

Maka dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,37g lereng pada penampang A-A' pada kondisi muka air tanah ¼ dalam keadaan masih aman.

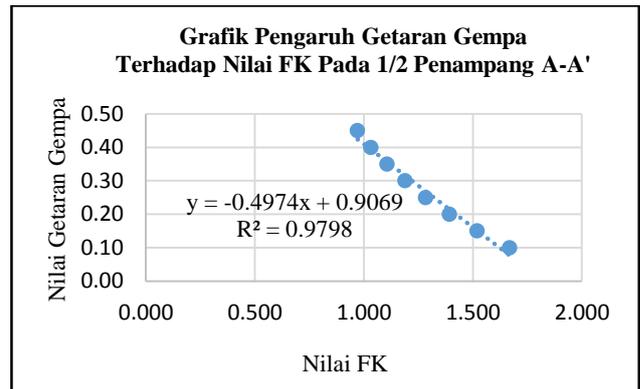
4.8.3 Lereng Dalam Kondisi Muka Air Tanah ½ Penampang A-A'

Hasil pengecekan lereng kondisi muka air tanah ½ ketika menerapkan getaran gempa sebesar 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 pada penampang A-A' dapat dilihat pada Tabel 13 berikut ini.

Tabel 13. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,669	0,10
2	1,520	0,15
3	1,392	0,20
4	1,283	0,25
5	1,189	0,30
6	1,106	0,35
7	1,033	0,40
8	0,971	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik hubungan getaran gempa dengan nilai FK, sehingga kita mendapatkan persamaan untuk mencari getaran pada nilai FK yang masih aman.



Gambar 27. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada ½ Penampang A-A'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,4974X + 0,9069 \quad (16)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa

x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,4974 \times 1,25) + 0,9069)$$

$$y = 0,29g$$

Maka dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,29g yang masih sanggup ditahan lereng pada penampang A-A' pada kondisi muka air tanah ½ telah dalam keadaan aman.

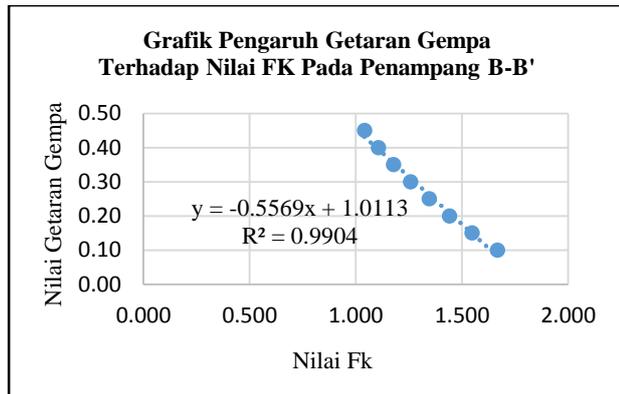
4.8.4 Lereng Dalam Kondisi Asli Pada Penampang B-B'

Hasil pengecekan lereng kondisi Tanah Asli ketika menerapkan getaran gempa sebesar 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 pada penampang B-B'' dapat dilihat pada Tabel 14 berikut ini :

Tabel 14. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,666	0,10
2	1,547	0,15
3	1,440	0,20
4	1,345	0,25
5	1,257	0,30
6	1,177	0,35
7	1,105	0,40
8	1,040	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik hubungan getaran gempa dengan nilai FK, sehingga kita dapat persamaan untuk mencari pada getaran tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng agar nilai FK masih aman.



Gambar 28. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada Penampang B-B'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,5569X + 1,0113 \quad (17)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa
x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,5569 \times 1,25) + 1.0113)$$

$$y = 0,32g$$

Maka dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,32g lereng pada penampang B-B'' pada kondisi asli dalam keadaan masih aman.

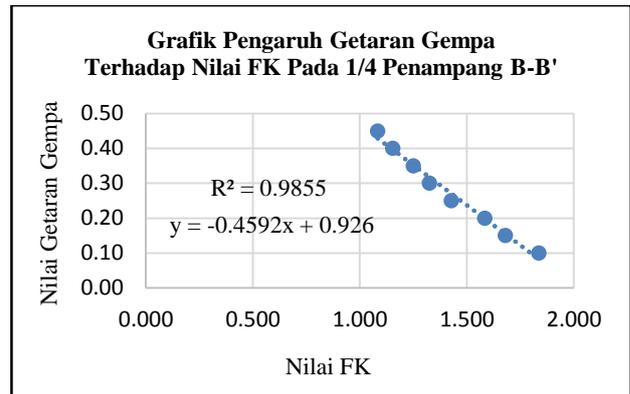
4.8.5 Lereng Dalam Kondisi Muka Air Tanah ¼ Pada Penampang B-B'

Hasil pengecekan lereng kondisi muka air tanah ¼ ketika menerapkan getaran gempa sebesar 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 pada penampang B-B'. dapat dilihat pada Tabel 15 berikut ini.

Tabel 15. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,837	0,10
2	1,681	0,15
3	1,584	0,20
4	1,428	0,25
5	1,325	0,30
6	1,251	0,35
7	1,154	0,40
8	1,083	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik hubungan getaran gempa dengan nilai FK, sehingga kita dapat persamaan untuk mencari pada getaran tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng agar nilai FK masih aman.



Gambar 29. Hubungan Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada Penampang ¼ B-B'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,4592X + 0,926 \quad (18)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa
x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,4592 \times 1,25) + 0.926)$$

$$y = 0,35g$$

Maka, dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,35g lereng pada penampang B-B'' pada kondisi muka air tanah ¼ dalam keadaan masih aman.

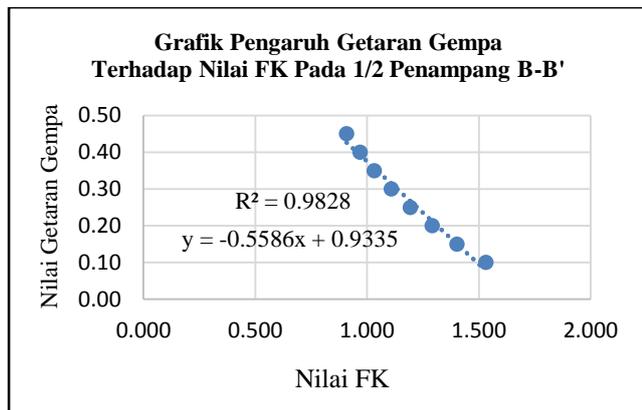
4.8.6 Lereng Dalam Kondisi Muka Air Tanah ½ Pada Penampang B-B'

Hasil pengecekan lereng kondisi muka air tanah ½ ketika menerapkan getaran gempa sebesar 0,10; 0,15g; 0,20g; 0,25g; 0,30g, 0,35, 0,40, dan 0,45 pada penampang B-B'. dapat dilihat pada Tabel 16 berikut ini.

Tabel 16. Simulasi Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK

No	Nilai Faktor Keamanan Lereng	Nilai Getaran Gempa
1	1,531	0,10
2	1,402	0,15
3	1,290	0,20
4	1,193	0,25
5	1,108	0,30
6	1,032	0,35
7	0,968	0,40
8	0,908	0,45

Pada simulasi tersebut maka dibuatlah grafik hubungan getaran gempa dengan nilai FK, sehingga kita dapat persamaan untuk mencari pada getaran tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng agar nilai FK masih aman.



Gambar 30. Pengaruh Getaran Gempa Terhadap Nilai FK Pada ½ Penampang B-B'

Dari grafik di atas maka didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$y = -0,5586X + 0,9335 \quad (20)$$

Keterangan :

y = Nilai Getaran Gempa

x = Nilai Faktor Keamanan

Selanjutnya dari persamaan tersebut maka dapat dihitung nilai getaran gempa yang dihasilkan pada saat nilai FK 1,25.

$$y = ((-0,5586 \times 1,25) + 0,9335)$$

$$y = 0,24g$$

Maka dari hasil perhitungan persamaan tersebut didapatkan pada getaran 0,24g lereng pada penampang B-B' pada kondisi muka air tanah ½ dalam keadaan masih aman.

5 Penutup

5.1. Kesimpulan

1. Geometri lereng penelitian berdasarkan hasil survey dan pengambilan data, secara umum ketinggian lereng dan kemiringan lereng sebesar 36 meter dengan sudut kemiringan lereng rata-rata 61°. Adapun material lereng berupa tanah (*soil*) yaitu *clay* berkerikil.
2. Berdasarkan hasil uji laboratorium, didapatkan nilai parameter sifat fisik dan mekanik sebagai berikut: bobot isi asli 1.72 gr/cm³, bobot isi kering 1.25 gr/cm³, bobot isi jenuh 2.051 gr/cm³, kohesi 0.623 gr/cm³, Sudut geser dalam 32.1°, berwarna coklat kehitaman, butiran halus dan disertai kerikil.

3. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang A-A' adalah 2,631 dan penampang B-B' adalah 2,342. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang A-A' adalah 2,200 dan penampang B-B' adalah 1,943. Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng pada penampang A-A' adalah 1,246 dan penampang B-B' adalah 1,075.
4. Rekomendasi peningkatan nilai faktor keamanan lereng penelitian yang cocok dan eisien dapat dilakukan dengan cara penanggulangan muka air tanah.
 - a. Pada penanggulangan muka air tanah (MAT) nilai getaran gempa maksimal yang dapat ditahan sehingga lereng berada dalam kondisi aman pada pengaruh getaran gempa terhadap nilai FK pada penampang A-A' didapatkan nilai getaran yang tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng ialah pada kondisi asli sebesar 0,36g, dalam kondisi muka air tanah ¼ 0,37g, pada kondisi muka air tanah ½ 0,29g.
 - b. Untuk penampang B-B' nilai getaran yang tertinggi yang masih sanggup ditahan oleh lereng ialah : pada kondisi asli 0,32g, pada kondisi muka air tanah ¼ 0,35g, pada kondisi muka air tanah ½ 0,24g

5.2. Saran

1. Kepada masyarakat area sekitar lereng penelitian maupun masyarakat penambang batuan dolomit, supaya berhati-hati di area sekitar lereng terutama pada saat hujan.
2. Kepada pemerintah daerah Kota Padang Panjang, supaya melakukan upaya peningkatan kesetabilan lereng di area lokasi penelitian, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan upaya *counter weight*.

Daftar Pustaka

- [1] Z. Zakaria. *Analisis Kestabilan Lereng*. Bandung: Universitas Padjadjaran (2009).
- [2] A.M. Hidayati. *Analisa Stabilitas Lereng Pada Campuran Pasir Dan Tanah Lempung Dengan Menggunakan Permodelan di Laboratorium*. Jurnal Rekayasa Sipil, **Vol. 8, No. 1** (2012).
- [3] Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Kota Padang Panjang. 2018. Peta Geologi Kota Padang Panjang. Kota Padang Panjang.
- [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] Y.M. Anaperta. *Evaluasi Kestabilan Lereng Tambang di Pit Tambang Air Laya (TAL) Barat Sekuen Januari 2017 Penampang C-C'PT. Bukit Asam (Persero) Tbk Tanjung Enim, Sumatera Selatan*. Jurnal Teknologi Informasi & Pendidikan, **Vol. 10, No. 1** (2017).
- [6] R.B. Pratama dkk. *Analisis Stabilitas Lereng Dan Alternatif Penanganannya (Studi Kasus Longsoran Jalan Alternatif Tawangmangu Sta 3+150 – Sta 3+200, Karanganyar)*. Jurnal Karya Teknik Sipil, **Vol. 3, No. 3** (2014).
- [7] M.D. Braja. *Mekanika Tanah Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*. Jilid 1,2. Erlangga. Jakarta (1995).
- [8] H.C. Hardiyatmo. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press (2012).
- [9] D.C. Wyllie, C.W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining*. 4rd. (ed). New York: Spoon Press London (2004).
- [10] M.G. Anderson, K.S Richard. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*. John Wiley and Sons (1987).
- [11] G.G. Kosim, Maryanto, D. Guntoro. *Analisis Balik Longsoran 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).
- [12] 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).
- [13] 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).
- [14] E. Hoek, John Bray. *Rock Slope Engineering*. London: Taylor & Francis Routledge (1981).
- [15] 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).
- [16] A.W. Bishop. 1955. *The Use of Slip Circle in The Stability Analysis of Slopes*, Geotechnique, **Vol. 5, No.1** (1955).
- [17] B.M. Das. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*. Jakarta : Erlangga (1994).
- [18] 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).
- [19] 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).
- [20] N. Martono. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jakarta : Rajawali Pers (2016).
- [21] J.E. Bowles. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid 1* (Edisi 4). Jakarta: Erlangga (1988).
- [22] S. Hardjowigeno. *Ilmu Tanah*. Jakarta : Akademia Presindo (2002).