

Analisa Kestabilan Lereng Studi Kasus Kelongsoran Ruas Jalan Mandeh-Sungai Nyalo Kecamatan Koto XI Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan

Sahmijar^{1,*}, and Bambang Heriyadi²

¹Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

* sahmijar@gmail.com

** bambang_heriyadi@yahoo.co.id

Abstract. To design safe slope, using Bishop Method and it helped Geostudio application. physical properties parameter (weight of content, specific gravity, the water level) and mechanics (cohesion and shear angle). The analysis of safe slope was based on the value of safety factor, based on Bowles the value of safety factor >1,25. There were 2 layers in the slope, in the first layer the value of shear angle $21,8^{\circ}$ showed clay soil and in the second layer the value of shear angle $31,66^{\circ}$ showed sandy clay soil. The result of safety factor using Geostudio application in the condition of natural soil was gotten the value of safety factor 1,388 showed that safe slope and in the saturated condition was gotten safety factor 1,046 it meanted the slope was in critical condition. Recommendation of safe slope design used decreasing sideways slope method, it consist of 4 bench. In the top bench the height was 5m and the sideways a was 45° and it was gotten safety factor =1,692, in the second bench the height was 4m and the sideways was 45° and it was gotten safety factor = 1,333, in the third bench the height was 5 m and the sideways was 45° and it was gotten safety factor =1,294, and in the last bench the height was 5m and the sideways was 45° , the result of overall was gotten safety factor = 1,288, based on Bowles (2000) the safety factor was safe

Keywords: Bishop method, geostudio, water level, cohesion, safety factor

1 Pendahuluan

Ditinjau dari letak geografisnya, Kabupaten Pesisir Selatan memiliki banyak destinasi wisata yang sudah menjadi tujuan wisata di Provinsi Sumatera Barat, salah satunya adalah Kawasan Mandeh yang terletak di Kecamatan Koto XI Tarusan merupakan salah satu Destinasi Utama Pariwisata Kabupaten (DUPK).

Saat ini pemerintah sedang membangun jalan dan masih dalam tahap pengerjaan dengan rute Teluk Kabung - Sungai Pisang - Sungai Nyalo - Mandeh. Hingga saat penulis melakukan observasi, pemerintah baru menyelesaikan 15 KM dari 43 KM total yang di targetkan selesai pada 2019. Namun, dari hasil observasi penulis mendapatkan beberapa titik lereng jalan yang rawan longsor yang dikhawatirkan mengakibatkan penutupan ruas jalan Sungai Nyalo-Mandeh dan menyebabkan kerugian akibat rusaknya jalan karena tertimbun material longsor nantinya, didaerah tersebut belakangan cukup sering terjadi bencana longsor yang disebabkan pembuatan lereng jalan tanpa analisis serta perencanaan yang matang.

Pemerintah Kabupaten Pesisir Selatan khususnya Kecamatan Koto XI Tarusan belum memiliki data kondisi untuk lereng di ruas jalan Mandeh- Sungai Nyalo, sehingga kondisi kestabilan lereng dan potensi

longsor belum dapat diketahui. Lereng di sepanjang ruas jalan Mandeh-Sungai Nyalo merupakan lereng buatan.

Berdasarkan Peta Prakiraan Potensi Terjadi Gerakan Tanah pada Bulan Januari 2017 di Sumatera Barat (Badan Geologi), daerah bencana terletak pada zona potensi terjadi gerakan tanah menengah, artinya daerah ini dapat terjadi gerakan tanah jika curah hujan di atas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan.

Untuk mencegah terjadinya longsor tersebut perlu dilakukan analisis kestabilan lereng yaitu dengan menentukan faktor keamanan dari lereng tersebut^[1]. Faktor keamanan lereng perlu diketahui untuk memastikan apakah lereng tersebut aman bagi aktivitas masyarakat di sekitar lereng tersebut. Jika lereng diketahui dalam keadaan kurang aman maka perlu dilakukan analisa kembali tentang bagaimana menentukan perkuatan terhadap lereng ataupun geometri yang sesuai dengan lereng tersebut^[2]. Selain itu, analisa terhadap jenis potensi longsor yang terjadi juga perlu dilakukan untuk menentukan rencana pengendalian sebelum longsor tersebut terjadi^[3-4].

2 Tinjauan pustaka

2.1 Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kecamatan Koto XI Tarusan Kabupaten Pesisir Selatan, Propinsi Sumatera Barat yang terletak antara $01^{\circ}12'33,7''S$ – $100^{\circ}25'38,6''E$. Luas Wilayah Kabupaten Pesisir Selatan adalah $\pm 5.794,45$ m² atau hanya sekitar 13,70% dari luas wilayah Propinsi Sumatera Barat (42.229,04 m²) dengan Ketinggian 0 – 1000 Mdpl. Untuk mencapai lokasi tersebut dapat ditempuh dengan Jalur darat, melalui rute Padang – Tarusan – Mandeh ± 78 km.

2.1.1 Keadaan topografi

Secara fisiografi, kemiringan wilayah kabupaten Pesisir Selatan dibagi menjadi 5 (lima) jenis kemiringan sebagai berikut:

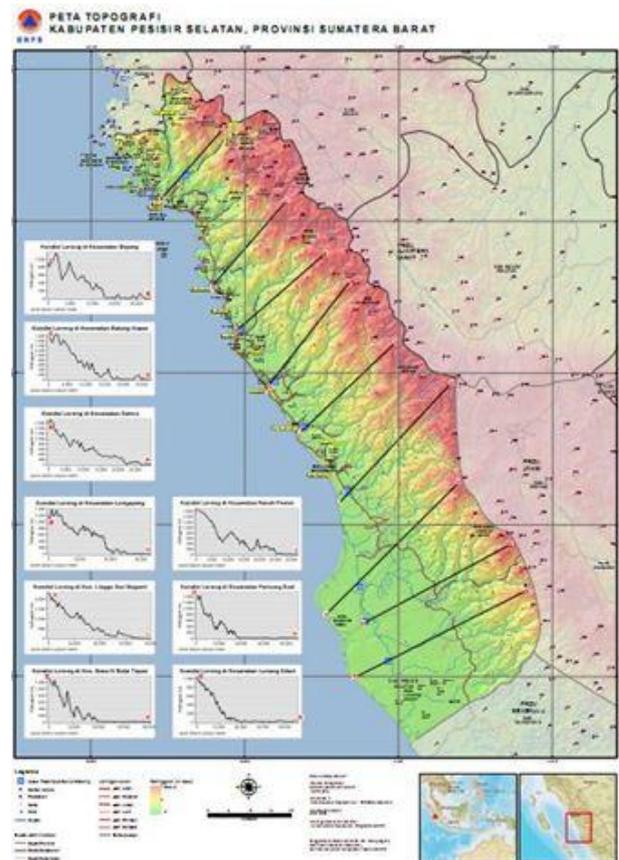
- Kemiringan $0 - 2^{\circ}$, yang merupakan kemiringan datar, terdapat di seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Pesisir Selatan, dengan luas 181.654 Ha (31,59%).
- Kemiringan $2 - 15^{\circ}$, yang merupakan kemiringan agak landai, terdapat di kecamatan Lunang Silaut, Kecamatan Basa IV Balai Tapan, Kecamatan Pacung Soal, Kecamatan Linggo Sari Baganti, Kecamatan Sutera, Kecamatan Batang Kapas, dan Kecamatan Koto XI Tarusan dengan luas 5.102 Ha (0,9%).
- Kemiringan $15 - 25^{\circ}$, yang merupakan kemiringan landai, terdapat di seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Pesisir Selatan, dengan luas 24.562 Ha (4,27%).
- Kemiringan $25 - 40^{\circ}$, yang merupakan kemiringan agak curam terdapat di seluruh kecamatan yang ada di Kabupaten Pesisir Selatan, dengan luas 59.436 Ha (10,34%).
- Kemiringan $> 40^{\circ}$, yang merupakan kemiringan curam terdapat di seluruh kecamatan yang ada di kabupaten Pesisir Selatan, dengan luas 304,235 Ha (52,91%)^[5].

2.1.2 Luas dan persebaran kelas lereng

Tabel 1. Luas dan persebaran kelas lereng

No	Nama Kecamatan	Kelas Kelereng					Jumlah (Ha)
		0 – 2	2 – 15	15 – 25	25 – 40	> 40	
1	Koto XI Tarusan	5.436	350	2.314	4.824	29.639	42.563
2	Bayang	3.668	-	1.152	2.088	1.624	8.532
3	IV Nagari Bayang Utara	724	-	1.080	4.104	18.384	24.292
4	IV Jurai	2.808	-	1.800	4.500	28.272	37.380
5	Batang Kapas	4.932	396	2.880	5.976	21.723	35.907
6	Sutera	9.792	468	2.304	6.408	25.593	44.565
7	Lengayang	9.432	-	252	3.348	46.028	59.060
8	Ranah Pesisir	6.804	-	1.296	13.428	34.911	56.439
9	Linggo Sari Baganti	9.720	396	1.584	8.388	11.453	31.541
10	Pancung Soal	34.380	504	3.672	2.124	33.330	74.010
11	Basa IV Balai Tapan	22.788	720	972	2.700	40.570	67.750
12	Lunang Silaut	71.170	2.268	5.256	1.548	12.708	92.950
TOTAL		181.654	5.102	24.562	304.235	304.235	574.989

2.1.3 Topologi kabupaten pesisir selatan



Gambar 1. Peta Topografi Kabupaten Pesisir Selatan

3 Metode penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus 2018 di Kecamatan Koto XI Tarusan Kabupaten Pesisir Selatan, Propinsi Sumatera Barat yang terletak antara $01^{\circ}12'33,7''S$ – $100^{\circ}25'38,6''E$.

3.1 Jenis penelitian

Berdasarkan jenis data dan analisisnya jenis penelitian ini termasuk penelitian gabungan kualitatif dan kuantitatif. Penelitian gabungan kualitatif dan kuantitatif adalah penelitian yang datanya terdiri dari data kualitatif dan data kuantitatif sehingga analisis datanya pun menggunakan analisis data kualitatif dan analisis data kuantitatif^[6].

3.2 Teknik pengumpulan data

Adapun urutan pekerjaan penelitian yaitu:

3.2.1 Pengamatan lapangan

Kegiatan pengamatan lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi aktual dari daerah penelitian. Dari tahap ini dapat melakukan persiapan sebelum mengambil data di lapangan seperti menandai titik untuk pengambilan sampel.

3.2.2 Pengambilan data primer

Untuk mendapatkan data primer terdiri dari pengambilan data dilapangan dan pengambilan data di laboratorium.

3.2.3 Pengambilan data di lapangan

Adapun data yang didapatkan langsung dari lapangan yaitu sebagai berikut:

3.2.3.1 Geometri dan penampang lereng, data yang diambil pada saat pengamatan geometri lereng yaitu: tinggi dan sudut kemiringan lereng. Tinggi lereng didapatkan dengan cara *marking* 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 dan marking GPS dan di bantu dengan aplikasi GeoStudio 2012 ^[7].

- a) Alat dan bahan
 - (1) GPS ; (2) Kompas Geologi.
- b) Prosedur
 - (1) Untuk pengambilan geometri lereng umum, yaitu ketinggian lereng dengan plotting koordinat puncak dan bawah. Sehingga Ketinggian lereng adalah hasil pengurangan koordinat puncak dengan koordinat bawah. Sedangkan kemiringan lereng diambil dengan menggunakan kompas, yaitu menempelkan sisi west pada kompas. (2) Pengambilan Penampang Lereng dilakukan dengan tracking koordinat dari kaki lereng hingga ke puncak lereng. Data pada GPS, kemudian di plot pada *software* Geostudio.

3.2.3.2 Pengambilan sampel tanah dengan *handbore*; adapun peralatan dan prosedur pengambilan sample adalah sebagai berikut:

- a) Alat
 - (1) *Hand auger set*, terdiri dari : T-stick dan stang bor, kepala tumbuk, auger, tabung contoh, palu, *cashing shce*, kunci tabung, dan pahat.;
 - (2) GPS; (3) Kantong plastik (4) Alat tulis (5) Kompas geologi

b) Prosedur
Sampel yang diambil merupakan sampel yang tidak terganggu (*undisturbed sample*). Tabung yang dipakai untuk mengambil sampel tanah harus memenuhi ketentuan :

$$\frac{D1^2 - D2^2}{D1^2} \times 100\% \leq 10\% \quad (1)$$

keterangan :

- D1 = diameter tabung bagian dalam
D2 = diameter tabung bagian luar

3.2.3.3 Pengujian laboratorium, pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi sifat fisik, dan sifat mekanik tanah ^[8]. Prosedur pengujian di laboratorium akan dijelaskan sebagai berikut:

- a) Pengeluaran sampel dengan *extruder*
- b) Alat dan bahan;
 - (1) *Extruder*; (2) Cincin dan ring sampel
- c) Prosedur
 - (1) Pasang tabung sampel pada alat ekstruder; (2) Putar alat ekstruder dan letakkan cincin rin sampel pada ujung tabung sampel; (3) Keluarkan sampel dari cincin ring

3.2.3.4 Uji sifat fisik dalam penelitian ini pengujian sifat fisik tanah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- a) Berat Jenis (*Spesific Gravity*)
 - (1) Alat dan Bahan
 - (a) Piknometer dengan kapasitas minimum 100 atau 50 ml.; (b) Neraca digital dengan ketelitian 0,01 gram. (c) Oven dilengkapi dengan alat pengukur suhu.
 - (2) Prosedur
 - (a) Timbang piknometer; (b) Siapkan sampel tanah kering ± 25 gram kemudian masukkan ke dalam piknometer dan timbang (W_2).; (c) Masukkan air sampai $2/3$ bagian piknometer yang telah berisi tanah kering dan dididihkan tanpa tutup. (d) Setelah mendidih, angkat piknometer, dinginkan. (e) Tambahkan air sampai ke leher piknometer kemudian ditimbang (W_3). (f) Timbang piknometer berisi air hingga ke leher labu (W_4).
 - (3) Analisis Berat Jenis

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (2)$$

Keterangan :

- G_s = *specific gravity*
 W_1 = berat piknometer (gram)
 W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)
 W_3 = berat piknometer + tanah kering, kemudian dimasukkan air hingga setengah piknometer, dididihkan, kemudian ditambah lagi air sampai leher piknometer (gram)
 W_4 = berat piknometer + air hingga leher piknometer (gram).

b) Bobot isi, adapun alat dan prosedur pengujian sampel sampai berikut:

- (1) Alat dan bahan
 - (a) Ring sampel; (b) Neraca digital (c) Sampel tanah

- c) Kadar air
- (1) Alat dan Bahan
 - (a) Neraca dengan ketelitian 0.01 gram.;
 - (b) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu. (c) Cawan sampel
 - (2) Prosedur
 - (a) Bersihkan dan keringkan cawan sampel kemudian timbang berat cawannya (W_1). (b) Masukkan sampel tanah ke dalam cawan dan timbang (W_2). (c) Dalam keadaan terbuka cawan bersama tanah dimasukkan dalam oven (105° - 110° C) selama 16-24 jam. (d) Cawan dengan tanah kering diambil dari oven, didinginkan dan setelah dingin ditimbang (W_3).
 - (3) Analisis kadar air

$$\text{Kadar air} = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100\% \quad (3)$$

3.2.3.5 Uji Sifat Mekanik; Adapun uji sifat mekanik yang dilakukan adalah uji kuat geser langsung (*shear direct test*).

- a) Alat dan Bahan

Adapun bahan dan peralatan yang diperlukan untuk uji sifat mekanik sebagai berikut:

 - (1) Alat uji kuat geser langsung (2) Sampel tanah yang dikeluarkan dari ring sampel
- b) Prosedur Uji Kuat Geser

Prosedur uji kuat geser tanah adalah sebagai berikut : (1) Keluarkan contoh tanah yang tidak terganggu (*undisturbed*) dari tabung sampel dan dipotong menggunakan kawat pemotong (*trimmer*), agar ketebalan contoh tanah sama dengan ketebalan ring pemotong. (2) Pasang batu porous pada bagian bawah tabung percobaan, kemudian pasang plat bergerigi di atas batu porous. (3) Keluarkan contoh tanah dari ring pemotong, dan masukkan ke dalam tabung percobaan (di atas plat bergerigi). (4) Letakkan batu bergerigi di atas contoh tanah, kemudian pasang batu porous di atas batu bergerigi. (5) Atur *dialgauge* penurunan agar jarum menunjukkan angka nol. (6) Atur torak beban dan pencatan gaya geser (*proving ring*) agar tepat menempel pada tabung percobaan. (7) Pasang beban. Beban yang diberikan pada percobaan yaitu beban 3 kg, beban 6 kg dan beban 9 kg. (8) Putar alat kuat geser dan catat besarnya gaya yang terjadi pada *proving ring*. (9) Percobaan dilanjutkan sampai contoh tanah hancur, yang ditunjukkan dari gaya pada *proving ring* yang konstan. (10) Ulangi percobaan dari alangkah 1-10 pada contoh tanah baru dan beban normal yang lebih besar. (11) Hitung tekanan normal dan tegangan

gesermaksimum yang terjadi (12) Gambar grafik hubungan antara tekanan normal dan tegangan geser. Kemudian tentukan besarnya kohesi dan sudut geser dalam. (13) Besarnya kohesi tanah ditentukan dari perpotongan antara garis linear dan ordinat pada tekanan normal sebesar nol, sedangkan besar sudut geser dalam ditentukan dari sudut kemiringan antara garis regresi (linear) yang menghubungkan titik-titik hasil pengujian dan garis (sumbu) horizontal^[9-10].

$$S = C + (\sigma - U) \text{tg } \phi \quad (4)$$

Dimana :

S = kekuatan geser (hg / cm²)

c = kohesi (kg / cm²)

ϕ = sudut geser (°)

σ = tegangan total pada bidang geser (kg / cm²)

U = tegangan air pori (kg/cm²).

3.3 Teknik pengambilan data sekunder

Data sekunder yang meliputi peta topografi, peta hidrogeologi dan data curah hujan didapatkan di Badan Penanggulangan Bencana Daerah Pesisir Selatan melalui Kesbangpol Kabupaten Pesisir Selatan.

3.4 Teknik Analisa Data

Teknik analisis data adalah teknik yang dibutuhkan untuk mengolah data yang telah dikumpulkan untuk kebutuhan penelitian agar mendapatkan suatu kesimpulan. Adapun tahapan untuk analisis dan pengolahan data yang penulis lakukan yaitu:

3.4.1 Analisis Data Hasil Pengujian Laboratorium

Pengujian laboratorium yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji sifat fisik dan uji sifat mekanik berupa uji kuat geser. Uji sifat fisik dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar air, bobot isi dan berat jenis tanah. Sedangkan uji sifat mekanik untuk mendapatkan nilai kohesi dan sudut geser dalam material penyusun lereng penelitian.

3.4.2 Analisis Kestabilan Lereng dengan Simplified Bishop Methode

Analisis kestabilan lereng bertujuan untuk mengetahui nilai faktor keamanan (FK) lereng tersebut dimana lereng dikatakan aman jika nilai $FK > 1,25$. Analisis kestabilan lereng dalam penelitian ini dilakukan dengan *simplified bishop methode* yang dibantu oleh *software Geostudio* untuk memudahkan dalam menganalisa kestabilan lereng tersebut^[11].

4 Hasil dan pembahasan

4.1 Uji sifat fisik

4.1.1 Pengujian kadar air

Kadar air tanah adalah perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dan berat kering tanah, dinyatakan dalam persen

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 Ia	Sampel 1	8.35	25.14	20.67	26.62	27.85
	Sampel 2	8.37	23.74	19.33	28.69	
	Sampel 3	8.36	28.11	22.53	28.25	
Lapisan Ib	Sampel 1	8.36	16.2	14.19	25.63	25.31
	Sampel 2	8.36	17.58	15.28	24.94	
	Sampel 3	8.36	15.85	13.95	25.36	
Lapisan II	Sampel 1	8.36	19.43	16.35	27.82	28.00
	Sampel 2	8.36	20.98	17.42	28.20	
	Sampel 3	8.36	17.37	14.85	27.96	

4.1.2 Pengujian berat jenis tanah

Tabel 3. Data dan hasil analisis berat jenis tanah

Lapisan	Sampel	Berat pikno (W1) (gr)	Berat pikno+ tanah W2 (gr)	Berat pikno+ Air W3 (gr)	Berat pikno+ Air W4 (gr)	Berat Jenis Tanah (Gs)	Berat Jenis Tanah Rata-Rata (Gs Rata-Rata)
Lapisan Ia	Sampel 1	30.75	44.20	136.62	128.27	2.63	2.64
	Sampel 2	31.61	47.42	138.19	128.38	2.63	
	Sampel 3	30.21	40.05	134.83	128.71	2.64	
Lapisan Ib	Sampel 1	33.08	41.01	133.19	128.27	2.63	2.63
	Sampel 2	33.79	48.86	137.72	128.38	2.63	
	Sampel 3	32.88	37.41	131.53	128.71	2.64	
Lapisan II	Sampel 1	32.85	47.99	138.35	128.84	2.68	2.68
	Sampel 2	37.58	51.49	140.01	131.29	2.68	
	Sampel 3	35.39	45.40	135.58	129.31	2.67	

4.1.3 Pengujian bobot isi tanah

Tabel 4. Data dan hasil analisis bobot isi tanah

Koordinat	Sampel	Berat Cincin (gr)	Berat Cincin dan Tanah (gr)	Berat Tanah (gr)	Volumen Sampel (cm3)	Diameter Cincin (cm)	Tinggi Cincin (cm)	Bobot Isi Tanah (gr/cm3)	Bobot Isi Tanah Rata-rata (gr/cm3)
Lapisan Ia	Sampel 1	61.71	178.04	116.33	62.26	6	2.081	2.169	2.210
	Sampel 2	61.71	182.95	121.24	62.26	6	2.081	2.260	
	Sampel 3	61.71	179.84	118.13	62.26	6	2.081	2.202	
Lapisan Ib	Sampel 1	61.71	173.99	112.28	62.26	6	2.081	2.093	2.107
	Sampel 2	61.71	174.61	112.90	62.26	6	2.081	2.105	
	Sampel 3	61.71	175.55	113.84	62.26	6	2.081	2.122	
Lapisan II	Sampel 1	61.71	166.93	105.22	62.26	6	2.081	1.961	2.023
	Sampel 2	61.71	171.17	109.46	62.26	6	2.081	2.041	
	Sampel 3	61.71	172.57	110.86	62.26	6	2.081	2.067	

Tabel 5. Nilai bobot isi asli, kering, dan jenuh tanah

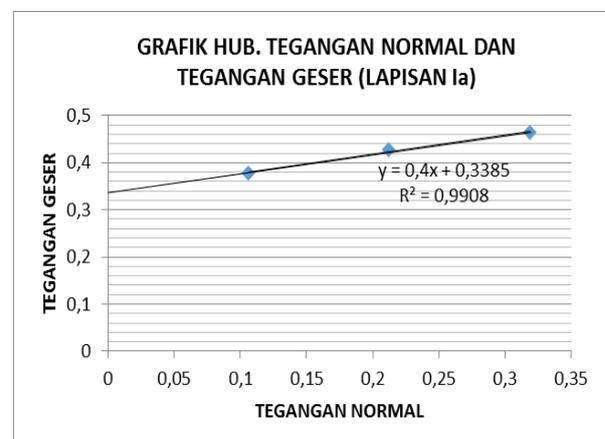
Sampel	Bobot Isi Asli (gram/cm3)	Bobot Isi Asli (kN/m3)	Bobot Isi Kering (gram/cm3)	Bobot Isi Kering (kN/m3)	Bobot Isi Jenuh (gram/cm3)	Bobot Isi Jenuh (kN/m3)
Lapisan Ia	2.21	21.68	1.72	16.95	5.839	57.26
Lapisan Ib	2.10	20.66	1.68	16.49	5.558	54.51
Lapisan II	2.02	19.84	1.58	15.5	5.426	53.21

4.2 Uji sifat mekanik

Tabel 6. Data hasil uji kuat geser tanah

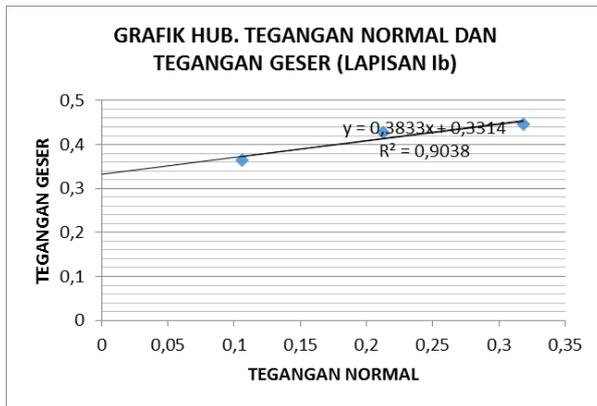
Lapisan Ia						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (σ)	Tegangan Geser (τ)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	23	10.7	0,106	0.378	28.26
II	6	26	12.1	0,212	0.428	28.26
III	9	28	13.1	0,318	0.463	28.26
Lapisan Ib						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (σ)	Tegangan Geser (τ)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	22	10.3	0,106	0.364	28.26
II	6	26	12.1	0,212	0.428	28.26
III	9	27	12.6	0,318	0.445	28.26
Lapisan II						
Sample	Beban Normal (Kg)	Dial Gauge	Beban Geser (Kg)	Tegangan Normal (σ)	Tegangan Geser (τ)	Luas Cetakan (A) (cm ²)
I	3	16	7.5	0,106	0.265	28.26
II	6	22	10.3	0,212	0.364	28.26
III	9	24	11.2	0,318	0.396	28.26

Setelah mendapatkan nilai tegangan geser (τ) dan tegangan normal (σ), maka dihubungkan dengan grafik dimana pada sumbu vertikal adalah tegangan geser (τ), dan tegangan normal pada sumbu horizontal.



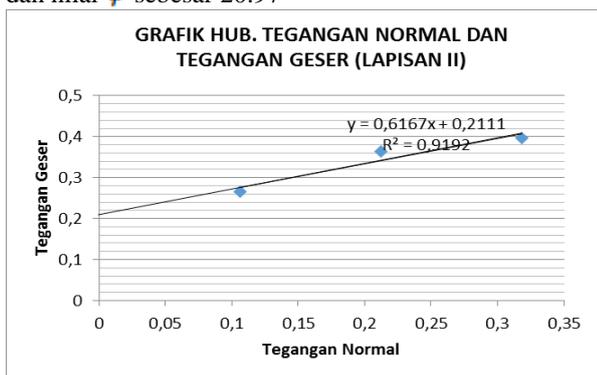
Gambar 2. Grafik tegangan geser – tegangan normal lapisan Ia

Berdasarkan gambar 2 pada lapisan Ia didapatkan nilai c tanah sebesar $0.3385 \text{ kg/cm}^2 = 33.196695 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ sebesar 21.80°



Gambar 3. Grafik tegangan geser – tegangan normal lapisan Ib

Berdasarkan gambar 3 pada lapisan Ib didapatkan nilai c tanah sebesar $0.3314 \text{ kg/cm}^2 = 32.500398 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ sebesar 20.97°



Gambar 4. Grafik tegangan geser – tegangan normal lapisan II

Berdasarkan gambar 4 pada lapisan II didapatkan nilai c tanah sebesar $0.2111 \text{ kg/cm}^2 = 20.70257 \text{ KN/m}^2$, dan nilai ϕ sebesar 31.66° .

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

Tabel 7. Nilai kohesi dan sudut geser dalam

Lapisan Ia		
Kohesi (kg/cm ²)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
0.3385	33.196695	21.80
Lapisan Ib		
Kohesi (kg/cm ²)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
0.3314	32.500398	20.97
Lapisan II		
Kohesi (kg/cm ²)	Kohesi (KN/m ²)	Sudut Geser Dalam (ϕ)
0.2111	20.702577	31.66

Lapisan I berupa lempung, yang mana menurut Buku Mekanika Tanah, Braja M Das jilid 1 nilai sudut geser dalam (ϕ) material lempung yaitu $20^\circ - 25^\circ$. Pada penelitian material menunjukkan nilai sudut geser dalam (ϕ) lapisan Ia sebesar 21.80 dan Ib sebesar 20.97 sehingga sesuai dengan pendapat Buku Mekanika Tanah, Braja M Das jilid 1

Tabel 8. Penentuan sudut geser dalam menurut Braja M Das

Jenis Tanah	Sudut Geser Dalam (θ)
Kerikil kepasiran	$35^\circ - 40^\circ$
Kerikil kerakal	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir padat	$35^\circ - 40^\circ$
Pasir lepas	30°
Lempung kelanauan	$25^\circ - 30^\circ$
Lempung	$20^\circ - 25^\circ$

Sedangkan lapisan II berupa lempung pasiran. Menurut Mayerhof (1965) material lepas (loose) seperti lempung berpasir memiliki nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar $30^\circ - 35^\circ$. Pada penelitian, material menunjukkan nilai sudut geser dalam (ϕ) lapisan II sebesar 31.66° sehingga sesuai dengan pendapat Mayerhof (1965).

Tabel 9. Penentuan sudut geser dalam menurut Mayerhof

Kepadatan	Sudut Geser Dalam
Very Loose (Sangat Lepas)	< 30
Loose (Lepas)	$30 - 35$
Medium Dense (Agak Kompak)	$35 - 40$
Dense (Kompak)	$40 - 45$
Very Dense (Sangat Kompak)	> 45

4.3 Nilai faktor keamanan lereng aktual pada lokasi penelitian

Kondisi kestabilan lereng didapatkan dari nilai faktor keamanan hasil analisis *software* geostudio tambang dan analisis manual menggunakan *simplified bishop metode*. Analisis kestabilan lereng ini mendapatkan nilai kestabilan lereng saat kondisi kering, asli dan jenuh,

4.3.1 Parameter Analisis Kestabilan Pada Lereng Penelitian

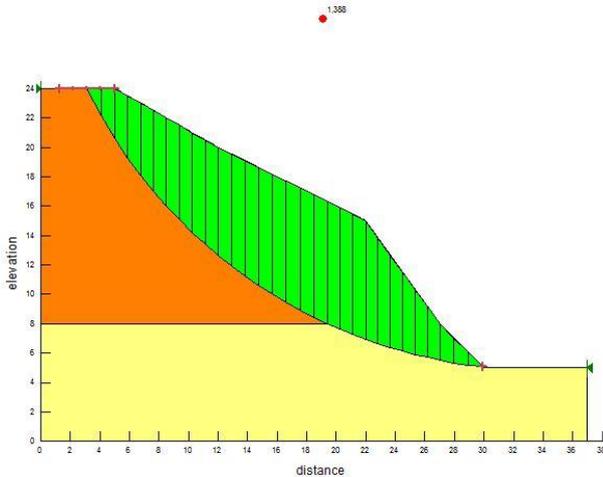
Analisa lereng untuk mendapatkan berapa nilai faktor keamanan optimal dengan parameter kohesi, sudut geser dalam, dan bobot isi material serta kondisi air tanah yang nantinya akan dapat dipertimbangkan untuk evaluasi kemantapan lereng pada lokasi penelitian. Berikut parameter sifat fisik dan mekanik material yang menjadi data input pada analisis faktor keamanan (FK) lereng

Tabel 10. Parameter analisis lereng penelitian

Koordinat	Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng				
	Sifat fisik			Sifat mekanik	
	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ³)	Sudut Geser Dalam (kN/m ³)
Lapisan I	21.17	16.72	55.88	32.84	21.38
Lapisan 2	19.84	15.50	53.21	20.70	31.66

4.3.2 Faktor keamanan lereng kondisi asli

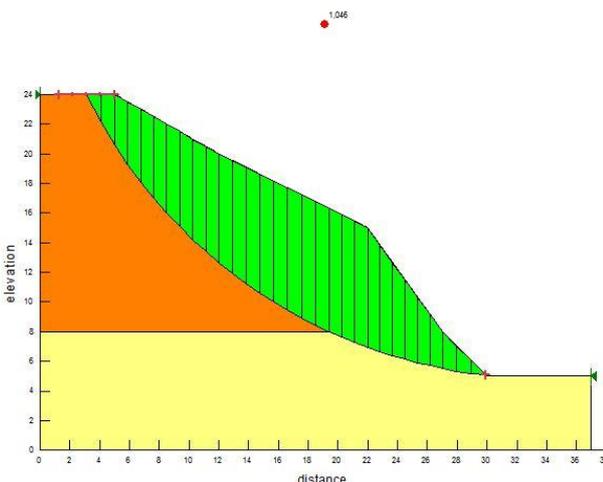
Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng penelitian pada kondisi asli adalah 1,388. Berdasarkan nilai FK pada kondisi asli disimpulkan bahwa lereng berada dalam kondisi aman. Berikut hasil analisis FK lereng pada *software* GeoStudio 2012.



Gambar 5. Lereng penelitian dalam kondisi asli

4.3.2 Faktor keamanan lereng kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan bahwa nilai faktor keamanan (FK) lereng penelitian pada kondisi jenuh adalah 1,046. Berdasarkan nilai FK pada kondisi jenuh disimpulkan bahwa lereng berada dalam kondisi kritis. Berikut hasil analisis FK lereng pada *software* GeoStudio 2012



Gambar 6. Lereng penelitian dalam kondisi jenuh

Berdasarkan hasil analisis faktor keamanan (FK) lereng kondisi kering, jenuh dan asli maka dapat disimpulkan kondisi FK pada lereng penelitian sebagai berikut:

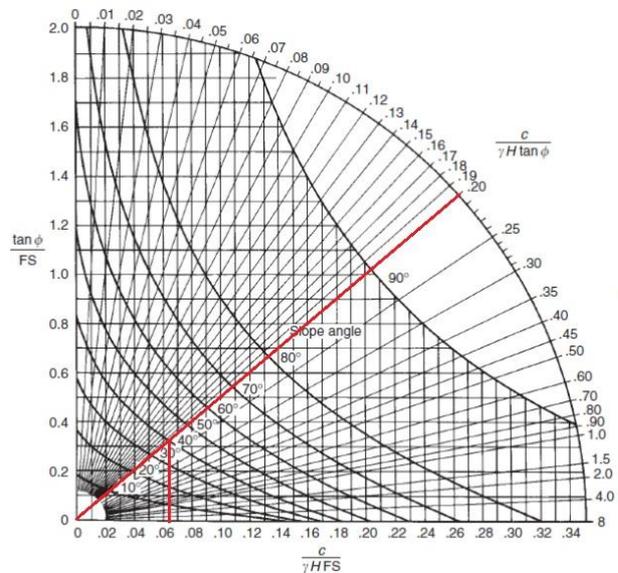
Tabel 11. Rekapitulasi FK lereng dengan *software* Geostudio 2012

No	Kondisi	Nilai Faktor Keamanan
1	Asli	1,388
2	Jenuh	1,046

4.4 Analisis longsor menggunakan diagram hoek dan bray

Hoek dan Bray merupakan analisis longsor busur dengan menggunakan metode grafik

4.4.1 Kondisi natural



Gambar 7. Analisis FK menggunakan metode Hoek dan Bray lereng kondisi natural

Dari grafik di atas, didapatlah cara perhitungan faktor keamanan sebagai berikut:

Rumus

$$\frac{c}{\gamma H F} = 0,064, \quad (9)$$

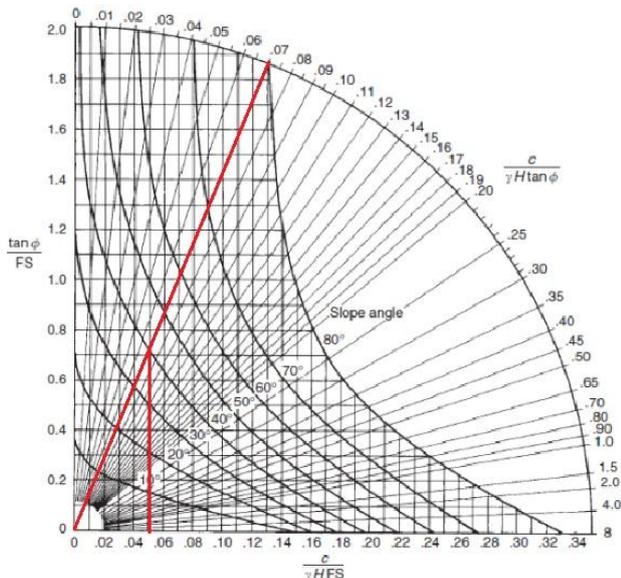
$$\text{maka } F = \frac{32,84 \text{ Kn/m}^2}{21,17 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^3} \times 19\text{m} \times 0,064}$$

$$= \frac{32,84}{25,74}$$

$$= 1,27$$

Berdasarkan analisis menggunakan metode grafis Hoek dan Bray diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi lereng natural, dengan FK sebesar $1,27 \geq 1,25$ artinya lereng berada dalam kondisi aman.

4.4.2 Kondisi jenuh



Gambar 8. Analisis fk menggunakan metode Hoek dan Bray lereng kondisi jenuh

Dari grafik di atas, didapatlah cara perhitungan faktor keamanan sebagai berikut:

Rumus

$$\frac{c}{\gamma H F} = 0,05, \quad (9)$$

maka $F = \frac{32,84 \text{ Kn/m}^2}{55,88 \frac{\text{Kn}}{\text{m}^3} \times 19\text{m} \times 0,05}$

$$= \frac{32,84 \text{ Kn/m}^2}{53,08} = 0,61$$

Berdasarkan analisis menggunakan metode grafis Hoek dan Bray diperoleh nilai faktor keamanan lereng dengan kondisi lereng jenuh, dengan FK sebesar $0,61 \leq 1,25$ artinya lereng berada dalam kondisi tidak aman.

Hasil analisis FK dengan menggunakan metode diagram Hoek dan Bray dan analisis FK menggunakan GeoStudio, dapat dilihat pada tabel 20 berikut:

Tabel 12. Hasil nilai FK menggunakan metode diagram Hoek dan Bray dengan software Geostudio 2012

No	Kondisi MAT	Nilai FK Menggunakan Software GeoStudio 2012	Nilai FK Menggunakan Diagram Hoek dan Bray
1	Natural	1,388	1,27
2	Jenuh	1,046	0,61

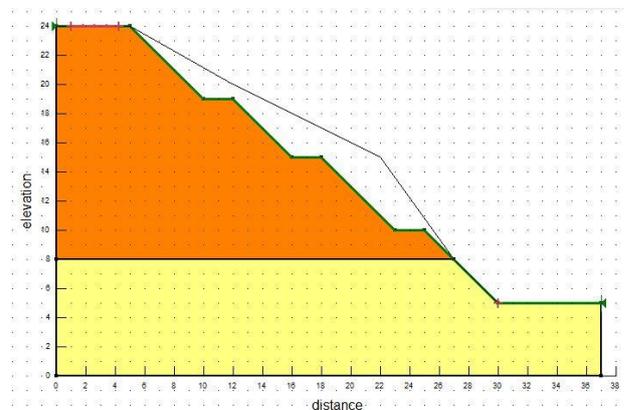
4.5 Rekomendasi desain lereng aman dengan jenang

Keputusan pengambilan nilai FK untuk desain lereng yang aman adalah $> 1,25$. Sehingga dari simulasi

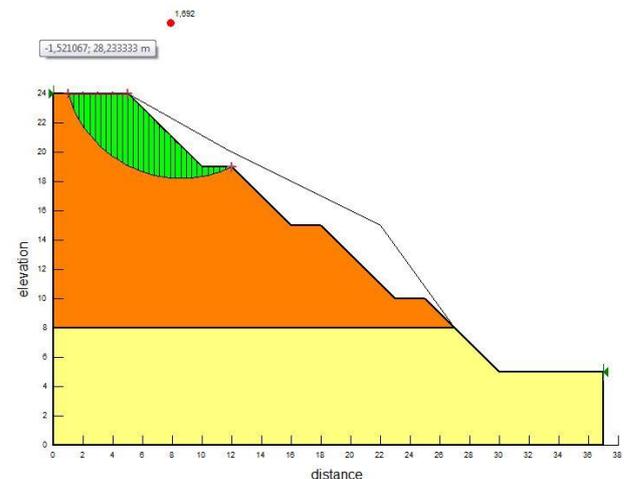
pasangan data tersebut didapatkan rekomendasi untuk desain lereng optimum yang aman.

Pada penelitian ini, untuk pembuatan sistem jenang yang tepat dilakukan dengan metode coba-coba. Artinya akan dilakukan pembuatan beberapa jenang dan pengecekan nilai Faktor Keamanan. Kondisi jenang yang dipakai untuk rekomendasi desain lereng aman adalah dengan Faktor Keamanan mendekati 1.25.

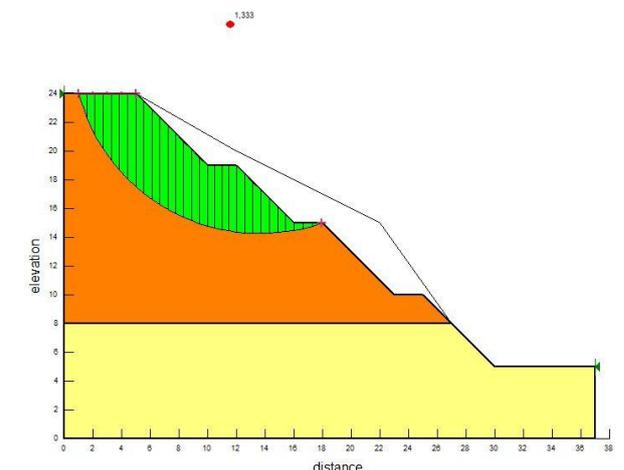
Berikut hasil gambaran hasil analisis rekomendasi desain lereng aman dengan pembuatan jenang



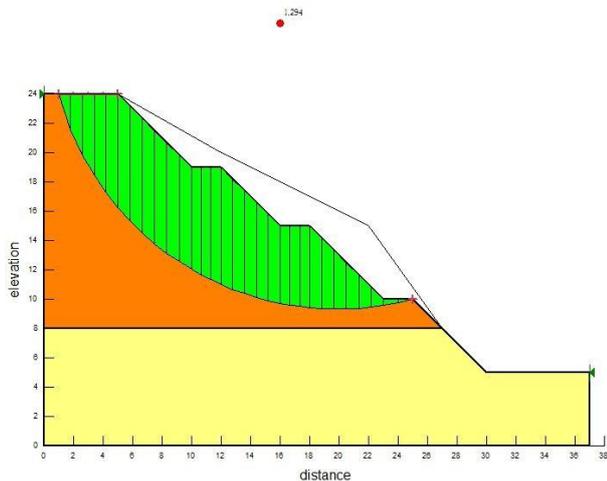
Gambar 9. Rekomendasi desain lereng aman menggunakan metode pengurangan kemiringan lereng dengan jenang



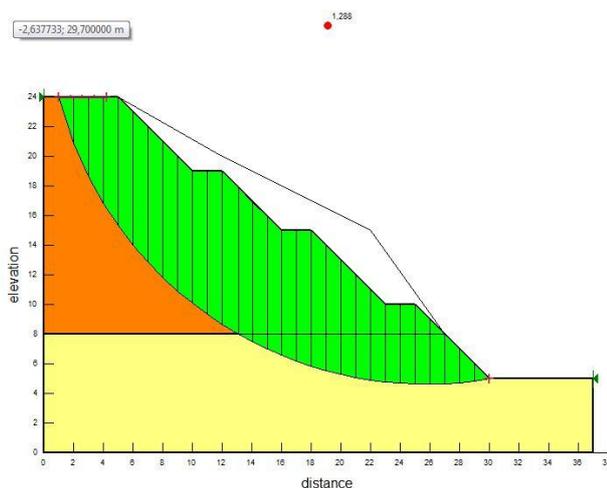
Gambar 10. Analisis FK jenang pertama



Gambar 11. Analisis FK jenang kedua



Gambar 12. Analisis FK jenjang ketiga



Gambar 13. Analisis FK (Overall Slope) berdasarkan rekomendasi pada kadar air jenuh

Hasil analisis dengan menerapkan pembuatan sistem jenjang yang terdiri dari empat jenjang, yaitu pada jenjang bagian atas pada gambar 57 dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,692, pada jenjang kedua pada gambar 58 dengan ketinggian 4 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,333, pada jenjang ketiga pada gambar 59 dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,294, dan pada jenjang terakhir (*Overall Slope*) pada gambar 60 dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,288, berdasarkan Bowles (2000) FK tergolong aman.

5 Kesimpulan dan saran

5.1 Kesimpulan

- 1 Geometri lereng penelitian berdasarkan hasil survey dan pengambilan data, secara umum ketinggian lereng dan kemiringan lereng sebesar 19 meter dengan sudut kemiringan lereng rata-rata 40° dan material penyusun terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan pertama berupa lempung dengan ketebalan 3 m dan lapisan kedua berupa lempung berpasir dengan

ketebalan 16 m. Jenis longsor yang berpotensi pada lereng penelitian adalah longsor busur, dimana longsor busur hanya terjadi pada lereng dengan material batuan lemah atau tanah.

- 2 Nilai parameter sifat fisik dan mekanik sebagai berikut.

Koordinat	Sifat Fisik dan Mekanik Material Penyusun Lereng				
	Sifat fisik			Sifat mekanik	
	Bobot Isi Asli (kN/m ³)	Bobot Isi Kering (kN/m ³)	Bobot Isi Jenuh (kN/m ³)	Kohesi (kN/m ³)	Sudut Geser Dalam (kN/m ³)
Lapisan 1	21.17	16.72	55.88	32.84	21.38
Lapisan 2	19.84	15.50	53.21	20.70	31.66

- 3 Kondisi Kestabilan Lereng Penelitian Berdasarkan hasil analisis Bishop dan dibantu software GeoStudio 2012, didapatkan nilai FK lereng kondisi natural adalah 1,388, dan nilai FK lereng kondisi jenuh adalah 1,046. Berdasarkan hasil analisis hoek and bray, didapatkan nilai FK lereng kondisi natural adalah 1,27, dan nilai FK lereng kondisi jenuh adalah 0,61.
- 4 Rekomendasi untuk desain lereng aman menggunakan metode pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang yang terdiri dari empat jenjang, yaitu pada jenjang bagian atas dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,692, pada jenjang kedua dengan ketinggian 4 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,333, pada jenjang ketiga dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° didapatkan FK = 1,294, dan pada jenjang terakhir (*Overall Slope*) dengan ketinggian 5 m dan kemiringan 45° . Hasil analisis didapatkan FK = 1,288, berdasarkan Bowles (2000) FK tergolong aman.

5.2 Saran

1. 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 Pesisir Selatan dan dinas terkait, supaya melakukan upaya peningkatan kestabilan lereng di area lokasi penelitian, upaya yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan upaya pengurangan kemiringan lereng dengan jenjang.
3. Perlu adanya rambu-rambu bahaya longsor sebagai pengetahuan bagi masyarakat tentang keadaan lereng.

Daftar pustaka

- [1] Rahim, Azhary, *Analisis Kestabilan Lereng Untuk Menentukan Geometri Lereng Pada Area Penambangan Muara Tiga Besar Selatan PT Bukit Asam (Persero), Tbk.* Padang, Universitas Negeri Padang, 4 (2015)
- [2] Agung, Kurniawan, *Analisis Kestabilan Lereng Jalan Di Jalan Dlingo – Pleret, Desa Terong Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul.* Skripsi. UPN Veteran. (2011)
- [3] Anderson, M.G., Richard K.S., *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology.* (1987)
- [4] Arif, Irwandi, *Buku Geoteknik Tambang.* Jakarta. Gramedia Pustaka Utama, (2016)
- [5] Anonim, *Buku Putih Sanitasi (BPS),* BPBD Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat, 11-2 (2017)
- [6] Sudjana, Nana & Ibrahim, *Penelitian dan Penilaian Pendidikan.* Bandung : Sinar Baru Algensindo, (2001)
- [7] Anonim, *SNI 2437:1991 Cara Uji Sifat Fisik Batu.* Badan Standardisasi Nasional, (2008)
- [8] Hardiyatmo, Hary Christady, *Mekanika Tanah 1.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, (2012)
- [9] Hardiyatmo, Hary Christady, *Mekanika Tanah 2.* Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, (2010)
- [10] Wyllie, Duncan C, & Christopher W. Mah, *Rock Slope Engineering, Civil and Mining.* New York, Spoon Press. London, 72 (2004)
- [11] Saptono, Singgih, *Pengembangan Metode Analisis Stabilitas Lereng Berdasarkan Karakterisasi Batuan di Tambang Terbuka Batubara.* Disertasi tidak diterbitkan. Bandung, ITB, (2012)