

PERHITUNGAN STABILITAS LERENG TUBUH EMBUNG LOHIA MENGUNAKAN PROGRAM GEO STUDIO 2018

Idul Adha Zuhijja Ahmad^{1,*}, Sulha¹, Muriadin², Fathur Rahman Rustan³

¹ Program Studi D-III Teknik Sipil, Program Pendidikan Vokasi, Universitas Halu Oleo

² Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo Kendari

³ Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sembilanbelas November Kolaka

Koresponden*, Email: idualadhazuhijjaahmad@gmail.com

Info Artikel	Abstract
Diajukan : 05 April 2021 Diperbaiki : 19 April 2021 Disetujui : 30 April 2021	Embung Lohia is located in Waara Village, Lohia District, Muna Regency, Southeast Sulawesi Province. Geographically it is located between 4°6'5'15" south latitude and 120°123'24" east longitude. The construction of this reservoir is an alternative solution to the problem of harvesting surface runoff and rainwater, as well as infiltration which will increase groundwater content. The purpose of the construction of this lohia embung is to provide water in the dry season and the needs of community farm water in Lohia District, particularly in Waara Village. In the construction of this embung, of course, has dangerous potentials, so building an embung also means building a high-risk building. The risk of failure of the embung is an inevitable threat. However, due to the importance of slope stability in order not to cause any undesirable things such as landslides, it is necessary to analyze the stability of the slope itself. The results showed that there was a change in the value of the safety factor (SF) during the existing conditions, the water level was empty, the water level was normal and the water level was maximum. SF in the existing conditions for the Morgenstern-Price method empty water level: 2.128, Normal water level: 1.676 and maximum water level: 1.276.
<i>Key words</i> : Slope-W, Morgenstern-Price, Slope Stability	Abstrak Embung Lohia terletak di Desa Waara, Kecamatan Lohia, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara geografis terletak antara 4°6'5'15" Lintang Selatan dan 120°123'24" Bujur Timur. Pembangunan embung ini merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah sebagai pemanenan aliran permukaan dan air hujan, juga sebagai resapan yang akan mempertinggi kandungan air tanah. Tujuan pembangunan embung lohia ini, sebagai penyediaan air pada musim kemarau dan kebutuhan air tani masyarakat di Kecamatan Lohia, khususnya Desa Waara. Pada pembangunan embung ini tentunya, mempunyai potensi yang membahayakan, sehingga membangun embung berarti pula membangun suatu bangunan yang beresiko tinggi. Resiko kegagalan embung merupakan ancaman bahaya yang tidak dapat dielakkan. Namun karena pentingnya kestabilan lereng agar tidak terjadinya segala hal yang tidak diinginkan seperti kelongsoran, maka perlunya analisis kestabilan lereng itu sendiri. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perubahan nilai safety factor (SF) pada saat kondisi eksisting, muka air kosong, muka air normal dan muka air maksimum. SF pada kondisi eksisting untuk muka air kosong metode Morgenstern-Price : 2.128, muka air Normal : 1.676 dan muka air maksimum : 1.276.
Kata kunci : Slope-W, Morgenstern-Price, Stabilitas Lereng	

1. Pendahuluan

Embung Lohia terletak di Desa Waara, Kecamatan Lohia, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara geografis terletak antara 4°6'5'15" Lintang Selatan dan 120°123'24" Bujur Timur. Pembangunan embung ini merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah kebutuhan air masyarakat di Kecamatan Lohia, khususnya Desa Waara. Kondisi eksisting di daerah pembangunan Embung Lohia ini tidak memiliki baseflow atau sungai yang mengalir sepanjang tahun sehingga pada saat musim kemarau masyarakat kesulitan untuk memperoleh air dan hanya mengharap dari sumber air hujan saja sehingga sangat

diperlukan suatu tampungan air yang diharapkan dapat penuh selama musim penghujan dan dioperasikan selama musim kemarau untuk kepentingan air baku penduduk dan kebutuhan air pertanian setempat serta mengantisipasi persoalan keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air.

Mengingat pembangunan embung Lohia ini merupakan tempat mengalirnya air dari hulu pemukiman ke penampungan tubuh embung saat musim hujan, maka air yang mengalir dengan debit yang besar saat musim hujan tiba, akan mengalir dengan kecepatan yang tinggi ke arah penampungan tubuh embung, sehingga secara langsung

maupun tidak langsung akan mengakibatkan peningkatan debit air di tubuh embung. Berdasarkan hal tersebut, maka dipandang perlu untuk dilakukan suatu faktor keamanan kestabilan lereng tubuh embung. Berdasarkan uraian diatas, maka penulis tertarik untuk mengadakan penelitian dan mengangkat judul tugas akhir, yaitu : “Perhitungan Stabilitas Lereng Tubuh Embung Lohia Menggunakan Program Geo Studio 2018.”

2. Metode

2.1. Stabilitas Lereng Embung

Lereng (slope) adalah suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu, terbentuk secara alamiah atau dibentuk oleh manusia untuk tujuan tertentu. Lereng dipengaruhi oleh komponen gravitasi yang cenderung untuk menggerakkan tanah ke bawah, jika komponen gravitasi lebih besar untuk menggerakkan lereng yang melampaui perlawanan terhadap pergeseran yang dikerahkan tanah pada bidang longsornya maka akan terjadi kelongsoran tanah. Faktor keamanan didefinisikan :

Dengan :

- SF = Angka kematian terhadap kekuatan tanah
- Sf = Kekuatan geser rata-rata dari tanah (kN/m²)
- Sd = Tegangan geser rata-rata yang bekerja sepanjang bidang longsor (kN/m²).

Pada umumnya suatu lereng dapat dikatakan stabil apabila faktor keamanannya lebih besar dari pada satu. Kestabilan lereng tergantung dari kekuatan geser tanahnya. Pergeseran tanahnya terjadi karena adanya gerakan relatif antara butir-butir tanah. Oleh karena itu, kuat geser tanah tergantung pada gaya yang bekerja antara butir-butirnya. Tanah yang padat dengan susunan butir seperti pembagian ukuran butir interlocking dan besarnya kontak antara butir, lebih besar kekuatan gesernya dari tanah yang lepas (Braja M. Das., 1993)

Coulomb telah menyelidiki kekuatan geser tanah dan menyatakan bahwa : “perlawanan gesekan tidak mempunyai suatu nilai yang tetap akan tetapi berbedalbeda besarnya nilai tegangan normal yang bekerja pada bidang geser” Anggapan-anggapan yang digunakan adalah :

- 1) Besarnya perlawanan kohesi dianggap mempunyai nilai yang tetap dan tidak tergantung dari tegangan yang bekerja ini.
- 2) Kohesi terbagi merata pada luas permukaan geser artinya mempunyai nilai yang tetap untuk type tanah tertentu, pada suatu kadar air dan kondisi uji tertentu.

Kekuatan geser tanah terdiri dari dua komponen, yaitu kohesi dan geseran oleh Coulomb dinyatakan dalam suatu persamaan yang berupa suatu garis lurus dalam suatu sistem

koordinat dengan sumbu tegak Sf dan sumbu horizontal dapat didefinisikan dengan rumus (Braja M. Das., 1993) : Dimana :

- Sf = kekuatan geser tanah/tegangan geser pada keruntuhan (kN/m²)
- c = kohesi (kN/m²)
- φ = sudut geser tanah

Besarnya nilai kohesi dan sudut geser tanah (c dan φ) merupakan parameter efektif, mempengaruhi lokasi daerah kritis longsoran dengan keadaan faktor keamanan yang minimum. Secara umum terdapat beberapa data yang dibutuhkan untuk Analisis Stabilitas Lereng pada tubuh embung, yaitu :

- 1) Sifat Material
- 2) Air Tanah
- 3) Pembebanan Pada Lereng

2.2. Kuat Geser

Analisis stabilitas lereng bendungan dan lereng alami membutuhkan perhitungan kuat geser material sepanjang permukaan yang berpotensi runtuh. Berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dengan konsep tegangan efektif, maka kuat geser “S” (pada saat runtuh) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S' = c' + (\sigma - u) \tan \phi' \quad (1)$$

Dengan:

- c' : kohesi efektif (t/m²)
- φ' : sudut geser dalam efektif (derajat)
- u : tekanan air pori pada bidang runtuh selama pembebanan, pada saat runtuh (t/m²)
- σ : tegangan normal total pada bidang runtuh selama pembebanan pada saat runtuh (t/m²)
- S' : kuat geser efektif (t/m²)

2.3. Kreiteria Keruntuhan Mohr Coulomb

Tanah seperti halnya bahan atau material padat lainnya, akan runtuh baik karena kekuatan tarikan maupun geseran. Pengetahuan tentang kekuatan geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas massa tanah. Bila suatu titik pada sembarang bidang dari massa tanah memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya, maka akan terjadi keruntuhan pada titik tersebut. Kekuatan geser tanah (δf) di suatu titik pada bidang tertentu dari massa tanah, dikemukakan oleh Coulomb sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal (total)(σf) pada bidang tersebut di titik yang sama, sebagai berikut:

$$\delta f = c + \sigma f \tan \phi \tag{2}$$

di mana: c dan ϕ adalah parameter kekuatan geser, yang didefinisikan sebagai kohesi (*cohesion intercept* atau *apparent cohesion*), dan sudut tahanan geser (*angle of shearing resistance*) tanah. Berdasarkan konsep dasar Terzaghi, tegangan geser tanah hanya dapat ditahan oleh tegangan dari partikel-partikel padat tanah. Kekuatan geser tanah dapat juga dinyatakan sebagai fungsi dari tegangan normal efektif tanah sebagai berikut:

$$\delta f = c' + \sigma' f \tan \phi' \tag{3}$$

tegangan efektif. Dengan demikian, keruntuhan massa tanah akan terjadi pada titik yang mengalami keadaan kritis, yang disebabkan oleh kombinasi antara tegangan geser dan tegangan normal efektif tanah.

2.4. Parameter Turunan

Dari parameter yang dijabarkan dari berat dan volume tanah, selanjutnya dapat diturunkan hubungan persamaan-persamaan untuk beberapa parameter tanah, antara lain:

1) Berat Jenis atau Berat Spesifik (*Specific Gravity*)

Perbandingan antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada temperature 4°C, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$G_s = \gamma_s / \gamma_w \tag{4}$$

Nilai parameter G_s tidak berdimensi. Interval nilai G_s untuk berbagai jenis tanah, berkisar antara 2,58 sampai 2,75. Kecuali untuk jenis tanah humus dan gambut biasanya interval G_s antara 1,25 sampai 1,80. Nilai berat jenis untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. ASTM : American Standard Of Testing Material. 2000

Jenis Tanah	Berat Jenis (Gs)
Kerikil	2.65 – 2.68
Pasir	2.65 – 2.68
Lanau Anorganik	2.65 – 2.68
Lempung Organik	2.58 – 2.65
Lempung Anorganik	2.68 – 2.75
Humus	1,37
Gambut	1.25 – 1.80

2) Sudut Geser Dalam Tanah

Kekuatan geser dalam mempunyai variabel kohesi dan sudut geser dalam. Sudut geser dalam bersamaan dengan kohesi menentukan ketahanan tanah akibat tegangan yang bekerja berupa tekanan lateral tanah. Nilai ini juga didapatkan dari pengukuran engineering properties tanah dengan Direct Shear Test. Besarnya sudut geser dalam tanah atau yang biasa disebut dengan ϕ untuk jenis tanah pasir dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Sudut Geser dalam Tanah

Soil Type	Φ' (deg)
Sand : Rounded Grains	27 – 30
Loose	30 - 35
Medium	35 – 38
Sand : Angular Grains	30 - 35
Loose	30 – 35
Medium	35 – 40
Dense	40 – 45
Gravel With Some Sand	34 – 48
Slits	26 - 35

3) Kohesi

Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser dalam, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang berkerja pada tanah dalam hal ini berupa gerakan lateral tanah. Deformasi ini terjadi akibat kombinasi keadaan kritis pada tegangan normal dan tegangan geser yang tidak sesuai dengan faktor aman dari yang direncanakan. Nilai ini didapat dari pengujian Direct Shear Test. Nilai kohesi secara empiris dapat ditentukan dari data sondir (q_c) yaitu sebagai berikut:

$$\text{Kohesi (c)} = q_c / 20 \tag{5}$$

2.5. Metode Analisis Stabilitas Lereng

Metode Morgenstern Price, Metode ini adalah salah satu metode yang berdasarkan prinsip kesetimbangan batas yang dikembangkan oleh Morgenstern dan Price pada tahun 1965, dimana proses analisisnya merupakan hasil dari kesetimbangan setiap gaya- gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng tersebut baik gaya. Dalam metode ini, dilakukan asumsi penyederhanaan untuk menunjukkan hubungan antara gaya geser di sekitar irisan (X) dan gaya normal di sekitar irisan (E) dengan persamaan :

$$X = \lambda \cdot f(x) \cdot E \tag{6}$$

Dalam metode ini analisa faktor keamanan dilakukan dengan dua prinsip yaitu kesetimbangan momen (F_m) dan kesetimbangan gaya (F_f).

2.6. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di Desa Waara, Kecamatan Lohia, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. Berikut adalah gambar yang menunjukkan tempat lokasi penelitiansehubungan data perencanaan disajikan pada sub bab berikut.

2.7. Tahapan Penelitian

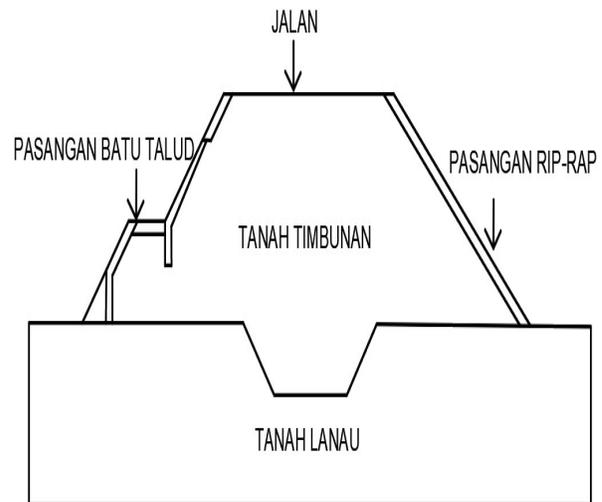
Metode ini dimulai dengan pembahasan awal mengenai studi literatur tentang kestabilan lereng embung yang dilanjutkan dengan pengumpulan data sekunder seperti peta topografi, data properties tanah. Setelah studi literatur dan data primer lengkap, kemudian dilakukan survei dan penyelidikan di lokasi penelitian.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Kondisi Ekisting Embung Lohia

Embung Lohia terletak di Desa Waara, Kecamatan Lohia, Kabupaten Muna, Provinsi Sulawesi Tenggara. Secara geografis terletak antara $4^{\circ}6'50''$ Lintang Selatan dan $120^{\circ}12'30''$ Bujur Timur. Pembangunan embung ini merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah sebagai pemanenan aliran permukaan dan air hujan, juga sebagai resapan yang akan mempertinggi kandungan air tanah. Pembangunan Embung Lohia ini tidak memiliki baseflow atau sungai yang mengalir sepanjang tahun sehingga pada saat musim kemarau masyarakat kesulitan untuk memperoleh air dan hanya mengharapkan dari sumber air hujan saja sehingga sangat diperlukan suatu tampungan air yang diharapkan dapat penuh selama musim penghujan dan dioperasikan selama musim kemarau untuk kebutuhan air pertanian setempat serta mengantisipasi persoalan keseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Embung Lohia ini merupakan tipe embung urugan yang mempunyai spesifikasi, sebagai berikut :

- Tahun Konstruksi : 2020
- Tinggi Embung : 6 m
- Lebar Puncak : 4 m
- MA Normal : ± 36.00 m
- MA Maksimum : ± 36.30 m



Gambar 1. Kondisi Ekisting Lereng Tubuh Embung Lohia

Sumber: Hasil analisa, 2021

3.2. Data Penelitian

Data penelitian dalam tugas akhir ini berupa data pengujian di lapangan dan dilaboratorium. Penjelasan terkait data penelitian ini selengkapnya akan dibahas secara spesifik pada sub bab berikut:

1) Pemeriksaan Berat Jenis (Spesific Grafity)

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Jenis

No	Titik Pengambilan Sampel	Berat Jenis
1	Titik 1	2.64
2	Titik 2	2.65

Sumber: Hasil olah data, 2021

2) Pemeriksaan Berat Isi (Unit Weight)

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Berat Isi

No	Titik Pengambilan Sampel	Berat Isi Basah (gr/cm^3)	Berat Isi Kering (gr/cm^3)
1	Titik 1	1.31	1.08
2	Titik 2	1.40	1.12

Sumber: Hasil olah data, 2021

3) Geser Langsung

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Geser Langsung

Titik	Kohesi (C) kg/cm^2	Sudut Geser
1	0.17	7.59
2	0.16	5.59

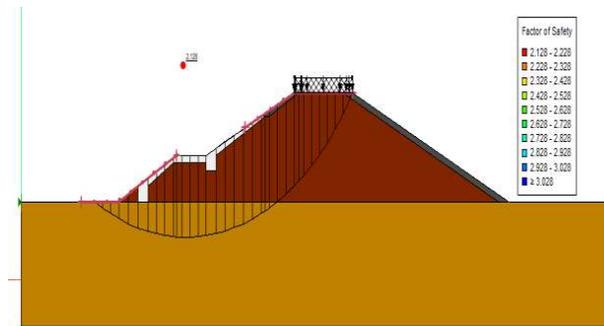
Sumber: Hasil olah data, 2021

3.3. Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi GeoStudio 2018. Kondisi yang ditinjau dalam studi kasus ini adalah kondisi pertama pada saat muka air kosong yaitu saat kondisi kering, dimana embung tidak menampung air atau pada saat embung kosong, sehingga muka air tanah berada pada dasar dinding lereng embung. Kondisi kedua adalah kondisi air normal, dimana kondisi muka air normal terjadi saat embung menampung air, sehingga muka air tanah berada pada elevasi 3,6 m dari tinggi dinding lereng embung 6 m. Kondisi terakhir muka air maksimum, dimana kondisi air sudah melewati batas tampungan, sehingga mengakibatkan banjir.

Tujuan di lakukannya analisis kondisi ekisting lereng yaitu untuk mengetahui kondisi permukaan lereng dan untuk memvalidasi nilai parameter tanah yang digunakan ketika penanganan.

1) Muka Air Kosong



Gambar 2. Bentuk Geometri Kondisi Eksisting Muka Air Kosong

Sumber: Hasil analisa, 2021

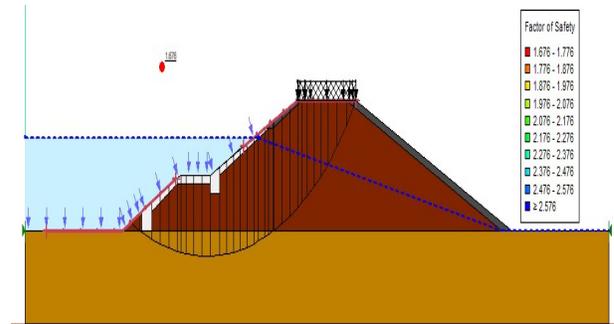
Tabel 6. Data Material lereng Muka Air Kosong

Material	(C) Kpa	(φ) °	γ KN/m ³
Tanah Asli	15,69	5,59°	13.729
Tanah Timbunan	16.671	7.59°	12.846
Pasangan Batu Beton	200	40°	20
Pasangan Rip-Rap	0	40°	20

Sumber: Hasil olah data, 2021

Dari hasil penggambar lereng muka air kosong diatas menggunakan aplikasi GeoStudio 2018, maka dapat diketahui bahwa nilai SF>1.25 dimana lereng tersebut dalam kondisi stabil dan nilai safety factor yang memenuhi standarisasi sehingga tidak butuh penanggulangan lereng untuk standarisasi angka safety factor.

2) Muka Air Normal



Gambar 3. Bentuk Geometri Kondisi Eksisting Muka Air Normal

Sumber: Hasil analisa, 2021

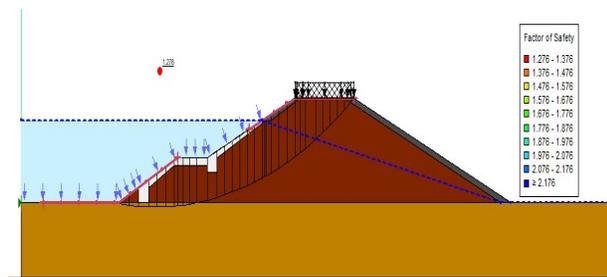
Tabel 7. Data Material lereng Muka Air Normal

Material	(C) Kpa	(φ) °	γ KN/m ³
Tanah Asli	15,69	5,59°	13.729
Tanah Timbunan	16.671	7.59°	12.846
Pasangan Batu Beton	200	40°	20
Pasangan Rip-Rap	0	40°	20

Sumber: Hasil olah data, 2021

Dari hasil penggambar lereng muka air normal diatas menggunakan aplikasi GeoStudio 2018, maka dapat diketahui bahwa nilai SF>1.25 dimana lereng tersebut dalam kondisi stabil dan nilai safety factor yang memenuhi standarisasi sehingga tidak butuh penanggulangan lereng untuk standarisasi angka safety factor.

3) Muka Air Maksimum



Gambar 4. Bentuk Geometri Kondisi Eksisting Muka Air Maksimum

Sumber: Hasil analisa, 2021

Tabel 8. Data Material lereng Muka Air Maksimum

Material	(C) Kpa	(ϕ) °	γ KN/m ³
Tanah Asli	15,69	5,59°	13.729
Tanah Timbunan	16.671	7.59°	12.846
Pasangan Batu Beton	200	40°	20
Pasangan Rip-Rap	0	40°	20

Sumber: Hasil olah data, 2021

Dari hasil penggambar lereng muka air maksimum diatas menggunakan aplikasi GeoStudio 2018, maka dapat diketahui bahwa nilai SF > 1.25 dimana lereng tersebut dalam kondisi stabil dan nilai safety factor yang memenuhi standarisasi sehingga tidak butuh penanggulangan lereng untuk standarisasi angka safety factor. Kemudian dapat di lihat pada tabel di atas, bahwa dari 3 metode lereng yang di running menggunakan GeoStudio 2018 safety factor yang di ambil adalah metode Morgenstern-price. Hal ini di karenakan jika di tinjau dari gaya-gaya dari metode Morgenstern-price membagi beberapa tipe potongan untuk di hitung nilai safety factor- nya sesuai bidang longsor yang ingin di fokuskan.

Kemudian untuk hasil rekapitulasi nilai safety factor dari 3 kondisi eksisting lereng, dalam metode GeoStudio 2018 di sajikan pada tabel 9.

Tabel 9. Hasil Data Keseluruhan Kondisi Eksisting Muka Air

Analisis Kondisi Eksisting	Safety Factory
Muka Air Kosong	2.128
Muka Air Normal	1.676
Muka Air Maksimum	1.276

Sumber: Hasil olah data, 2021

Di lihat pada tabel di atas, bahwa dari 3 kondisi lereng tersebut memiliki elevasi tinggi muka air yang berbeda, dengan menggunakan analisis lereng yang di running menggunakan GeoStudio 2018 semua memenuhi standarisasi dalam penentuan hasil nilai safety faktor, hasil running ke 3 lereng tersebut di anggap betul karena dari 3 metode analisis masuk dalam klasifikasi.

Hasil menunjukkan besaran nilai Faktor keamanan masing-masing kondisi memenuhi standar ketentuan nilai yang diperoleh. Hasil analisis dilakukan dalam 3 kondisi embung untuk dibandingkan faktor keamanan (Fk) minimum yang ditetapkan sesuai SNI 8064;2016. Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh di 3 kondisi memiliki nilai faktor keamanan lebih besar dari standar minimal yang ditetapkan oleh faktor keamanan minimum (SNI). Dari semua kondisi dinyatakan embung lohia memiliki stabilitas yang baik dan meskipun keruntuhan lereng dapat terjadi kapanpun dengan nilai faktor keamanan cukup kecil dengan zona kritis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian pada perhitungan Stabilitas Lereng Tubuh Embung Lohia, pada Desa Waara, Kecamatan Lohia, Kabupaten Muna dan pembahasan yang telah di uraikan diatas, maka di peroleh kesimpulan sebagai berikut :

- Nilai Safety faktor yang didapatkan pada lereng embung lohia, pada kondisi Muka Air Kosong : 2,128. Muka Air Normal : 1,676. Muka Air Maksimum : 1,276.
- Embung lohia memiliki nilai safety faktor > 1,25 sehingga lereng tersebut cukup stabil dan tidak mengalami kelongsoran pada kondisi lereng dari berbagai variasi muka air pada tubuh embung Lohia.

Daftar Pustaka

- [1] Adi Setya Yudha Pratama 2016. Evaluasi Stabilitas Lereng Pada Tubuh Bendungan Butak. Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang

- [2] AASHTO, AASHTO Interm Guide For Design Of Pavement Structures 1972, AASTHO Washington DC., Chapter III Revised 1981.
- [3] ASTM International (2000). Standart Test Method For Classification Of Soils For Engineering Purpose (Unified Soil Classification System) (ASTM D 2487) United State : ASTM International.
- [4] Das, Braja M, 1993. Mekanika Tansah Jilid Kedua. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [5] Joseph E. Bowles, 2000. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah, Erlangga, Jakarta.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, 2017. Modul Pengantar Perencanaan Embung, Bandung.
- [7] SNI 03-1964-1990. Cara Uji Berat Jenis Tanah., Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- [8] SNI 03-1965-1990. Cara Uji Penentuan Kadar Air., Badan Litbang Departemen Pekerjaan Umum.
- [9] SNI 8064-2016 Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bedungan Tipe Urugan. Badan Standardisasi Nasional 2016. Jakarta : Badan Standardisasi Nasional.

Halaman ini sengaja dikosongkan