

ANALISIS PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN LERENG DENGAN TINGKAT KEPADATAN TANAH 90% TERHADAP STABILITAS GULING MODEL BENDUNGAN TIPE URUGAN HOMOGEN

Rizki Aminulah

S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
rizki2711@gmail.com

Kusnan

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Abstrak

Salah satu hal yang fundamental dalam perencanaan sebuah bendungan tipe urugan tanah adalah masalah stabilitas tubuh bendungan itu sendiri. Salah satu faktor yang mempengaruhi stabilitas tersebut ialah kemiringan lereng. Maka dari itu, pada penelitian ini menunjukkan hubungan kemiringan lereng tubuh bendungan tipe urugan dengan kestabilannya melalui pemodelan bendungan urugan homogen.

Dalam penelitian ini diterapkan perhitungan stabilitas lereng dengan metode Fellenius dan juga program komputer Geostudio Slope/w versi pelajar dalam perhitungan angka keamanannya. Selain itu pengamatan keruntuhan lereng juga dilakukan pada model fisik bendungan dengan ukuran 3200 cm (80 cm pada model fisik), tinggi 880 cm (22 cm pada model fisik), dan panjang 1760 cm (44 cm pada model fisik), di mana terpasang drainase sepanjang 1200 cm (30 cm pada model fisik) dan tinggi 80 cm (2 cm pada model fisik) di bagian hilir bendungan dengan bahan pasir berkerikil yang dimodelkan dalam sebuah media akuarium yang terdapat pada laboratorium keairan Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya.

Berdasarkan analisis yang telah dilaksanakan, baik dengan metode Fellenius maupun program komputer Geostudio Slope/w versi pelajar menunjukkan bahwa semakin besar kemiringan lereng tubuh model bendungan urugan tanah (semakin curam), maka semakin rendah nilai angka keamanan tubuh bendungan tipe urugan. Di sisi lain, berdasarkan pengamatan pemodelan fisik tubuh bendungan dapat disimpulkan bahwa semakin besar kemiringan lereng tubuh model bendungan, maka semakin besar pula keruntuhan yang berpotensi terjadi.

Kata Kunci: Bendungan Urugan, Kemiringan Lereng, Angka Keamanan, Fellenius, Geostudio Slope/w 2012 versi pelajar, Keruntuhan, Model Fisik.

Abstract

One of the fundamental things in the planning of an earth-filled dam is the stability of the dam's body. One factor affecting stability is the slope. Therefore, in this study shows the relationship of the slope of the earth-filled dam body with its stability through homogeneous earth-filled dam modeling.

In this study, the slope stability calculated by using the Fellenius method and the Geostudio Slope /w student version computer program is applied in the calculation of its safety factor. Besides, observation of slope collapse was also carried out on the physical model of the dam with a size of 3200 cm wide (80 cm on physical model), 880 cm height (22 cm on physical model), and 1760 cm long (44 cm on physical model), where installed drainage along 1200 cm and height 80 cm downstream of the dam with gravel sand material modeled in an aquarium located in the water laboratory of the Department of Civil Engineering, Surabaya State University.

Based on the analysis that has been carried out, both with the Fellenius method and the Geostudio Slope / w student version computer program, it shows that the greater the slope of the soil fill model, the value of the safety factor are decreasing. On the other hand, based on observations of the physical body modeling of the dam it can be concluded that the greater slope of the dam model, the greater potential for the dam's collapse.

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bendungan merupakan salah satu jenis bangunan air yang memiliki banyak fungsi. Namun, pada umumnya fungsi utama bangunan bendungan adalah sebagai penahan aliran air sehingga air dapat mengumpul pada daerah hilir saluran yang dibendung sehingga dapat digunakan sebagai cadangan air saat terjadi krisis air terjadi. Bendungan juga dapat berfungsi sebagai pencegah bencana banjir pada

daerah hilir suatu wilayah yang disebabkan oleh debit air kiriman yang berasal dari hulu hingga dapat pula dignakan sebagai pembangkit listrik tenaga air.

Terdapat berbagai macam jenis bendungan, mulai dari bendungan tipe urugan homogen, bendungan tipe urugan zonal, maupun bendungan beton. Bendungan tipe urugan merupakan bendungan yang dibangun dengan cara menimbun bahan-bahan seperti batu, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu (Takeda et al, 1981). Salah satu keunggulan bendungan tipe urugan adalah umumnya

bendungan tipe urugan dapat dibangun di semua keadaan geologi dengan perbaikan-perbaikan pondasi yang cukup ringan (Soedibyo, 2003: 38). Di sisi lain, bahan yang digunakan dalam membangun bendungan tersebut umumnya juga menggunakan material yang terdapat pada sekitar lokasi bendungan, sehingga biaya konstruksi menjadi lebih ekonomis.

Agar suatu bendungan tipe urugan dapat menahan air dalam volume yang besar dengan aman, maka faktor keamanan terhadap pengaruh kestabilan lereng bendungan harus diperhatikan dengan benar. Dari pengalaman di Amerika Serikat dan di negara-negara lain di dunia kurang lebih 12% dari bendungan tipe urugan yang mengalami keruntuhan disebabkan karena pengaruh kestabilan lereng bendungan. Salah satu kegagalan yang pernah terjadi dalam pembangunan bendungan adalah runtuhnya tubuh bendungan itu sendiri. Beberapa waktu lalu, tepatnya pada tanggal 25 Januari 2019, dunia seolah dihebohkan dengan kabar jebolnya sebuah bendungan di Negara Brazil (Tempo, 2019). Maka dari itu, pada penelitian ini ditulis untuk membahas kestabilan pada tubuh model bendungan tipe urugan. Sedangkan fokus pada penelitian ini adalah pengaruh bentuk (kemiringan) lereng timbunan tubuh bendungan terhadap kestabilan tubuh bendungan tipe urugan, khususnya bendungan tipe urugan homogen dengan tingkat kepadatan yang umum diterapkan di lapangan dan juga telah digunakan pada penelitian sebelumnya, yaitu kepadatan 90% dari kepadatan maksimalnya.

B. Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi kemiringan lereng bendungan terhadap kestabilan atau nilai safety factor (SF) bendungan tipe urugan homogen dengan tingkat kepadatan 90% berdasarkan metode fellenius dan program geostudio versi pelajar pada komputer?
2. Bagaimana pola keruntuhan yang terjadi pada model lereng bendungan dari jenis tanah pasir berlempung yang mempunyai kepadatan dan kemiringan lereng tertentu?

C. Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh variasi kemiringan lereng bendungan terhadap kestabilan atau nilai safety factor (SF) bendungan tipe urugan homogen dengan tingkat kepadatan 90% berdasarkan metode fellenius dan program geostudio versi pelajar pada komputer
2. Untuk mengetahui pola keruntuhan yang terjadi pada model lereng bendungan dari jenis tanah pasir berlempung yang mempunyai kepadatan dan kemiringan lereng tertentu

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menunjukkan hubungan antara variasi kemiringan lereng bendungan terhadap kestabilan bendungan tipe urugan. Selain itu, dengan dilaksanakannya penelitian ini, diharapkan dapat diketahui juga pola keruntuhan pada model bendungan pada masing-masing perlakuan. Hal tersebut berguna untuk mengetahui perencanaan bendungan urugan yang efektif.

E. Batasan Masalah

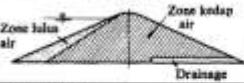
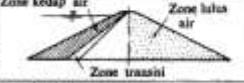
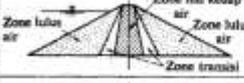
1. Penelitian ini menggunakan pemodelan bendungan tipe urugan dengan material homogen pasir berlempung yang berasal dari material Bendungan Tugu, Trenggalek.
2. Pemadatan tanah dilakukan dengan pemberian tumbukan dan dilaksanakan dengan tingkat kepadatan yang telah disesuaikan dengan penelitian terdahulu (Kusnan, 2009), yaitu dengan tingkat kepadatan sebesar 90% dari kepadatan maksimal tanah.
3. Pengaruh kemiringan lereng bendungan terhadap stabilitas bendungan juga diamati dengan mencoba tiga variasi kemiringan pada lereng model bendungan, yaitu mulai dari kemiringan 30°, 50° dan paling besar adalah 70°, pada tubuh bendungan Benda uji merupakan campuran yang terbuat dari tanah ekspansif Panempun dengan ditambahkan serbuk cangkang kerang dengan perbandingan 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% dari berat tanah kering.
4. Pengujian kestabilan model bendungan ini dilakukan dengan pemberian genangan air pada bagian hulu bendungan. Penggenangan dilaksanakan secara bertahap yaitu pada ketinggian air 400 cm (10 cm pada model fisik) dan ketinggian air 800 cm (20 cm pada model fisik). Sedangkan kalibrasi alat model fisik dilaksanakan dengan percobaan penggenangan selama 12 jam.
5. Campuran pasir dan kerikil dipasang pada tubuh bendungan dan sebagai drainase bendungan dipasang sepanjang 1200 cm (30 cm pada model fisik) dengan ketinggian 80 cm (2 cm pada model fisik) pada bagian hilir model bendungan.
6. Gaya uplift pada model bendungan diabaikan.
7. Sedimentasi/tampungan mati pada model bendungan ini tidak diperhitungkan.

KAJIAN PUSTAKA

A. Bangunan Bendungan

Bendungan merupakan salah satu jenis bangunan air yang berfungsi sebagai penahan aliran air sehingga air dapat berkumpul pada daerah hilir saluran yang dibendung dan dapat digunakan sebagai cadangan air saat terjadi krisis air. Bendungan juga dapat berfungsi sebagai pencegah

bencana banjir pada daerah hilir suatu wilayah yang disebabkan oleh debit air kiriman yang berasal dari hulu. Berikut ini adalah klasifikasi bendungan menurut Sosrodarsono & Kensaku (1981: 12):

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Bendungan Zonal Inti Miring		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan Zonal Inti Vertikal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton berulang, apal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Gambar 1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan
Sumber : Sosrodarsono & Kensaku (1981)

B. Tanah

Tanah merupakan material yang terdiri dari butiran mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Das, 1995:1).

C. Pemodelan

Model merupakan sebuah representasi yang memadai dari sebuah sistem. Di bidang akademik model berfungsi sebagai pengganti teori, namun bila teorinya sudah ada, maka model dipakai sebagai konfirmasi terhadap sebuah teori (Togar, 1994:5). Dan berikut ini merupakan macam-macam kesebangunan:

1. Kesebangunan geometris yang berarti bentuk dari model dan prototipe adalah sama. maka untuk mewujudkan model miniatur dari prototipe ini perlu satuan dan besaran yang digunakan: $m = \text{model}$, $p = \text{prototipe}$, $r = \text{ratio}$ dan skala n *ratio* antara masing – masing parameter yang ada pada prototipe dan model. Perbandingan besaran yang homolog dalam bentuk kesebangunan sehingga $m = \text{model}$, $p = \text{prototipe}$, $r = \text{ratio}$. Rumus kesebangunan geometris adalah sebagai berikut:

$$\text{Panjang, } L/L_m = L_r \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Luas, } A_p/A_m = L_r^2 \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Volume, } I_p/I_m = L_r^3 \dots\dots\dots(3)$$

2. Kesebangunan Kinematis atau kesebangunan dalam gerakan. Bila suatu benda yang sebangun geometris

bergerak ditempuh dalam waktu tertentu, maka rasio kecepatan dari partikel yang homolog sama besar

3. Kesebangunan Dinamis atau kesebangunan gaya, terjadi bila dalam gerakannya sebangun kinematis dan rasio dari massa yang bergerak serta yang menyebabkan dari partikel yang sudah homolog sama besarnya

D. Permeabilitas Tanah

Permeabilitas merupakan kemampuan tanah dalam mengalirkan fluida melalui pori-porinya. tingkat permeabilitas suatu bahan biasanya ditandai dengan angka koefisien permeabilitas atau koefisien filtrasi dengan satuan cm/dt. Hal tersebut berarti bahwa semakin tinggi nilai koefisien filtrasi, maka semakin cepat pula fluida tersebut dapat mengalir. untuk mengetahui koefisien tersebut biasanya dilakukan pengujian bahan di dalam laboratorium ataupun diuji dalam kondisi asliya di lapangan (Sosrodarsono & Kensaku , 1981: 95).

E. Kelongsoran Lereng

Tanah longsor merupakan salah satu bentuk dari gerak massa tanah, batuan, dan runtuhuan batuan/ tanah yang terjadi seketika yang bergerak menuju lereng bawah yang dikendalikan oleh gaya gravitasi dan meluncur dari atas suatu lapisan kedap yang jenih air (bidang lurus). Oleh karena itu, longsor dapat juga dikatakan sebagai bentuk erosi (Pentawan, 2017).

F. Stabilitas Lereng Bendungan

1. Metode Fellenius

Secara umum metode irisan bidang lurus bundar ini dirumuskan sebagai berikut:

$$F_s = \frac{\sum(C.l + (N - U - N_e) \tan \phi)}{\sum(T + T_e)} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

F_s = angka keamanan

C = Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lurus.

l = Panjang busur lingkaran bidag lurus

U = Tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus

N = Komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus

T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang lurus

T_e = Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncurnya

ϕ = Sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang lurus.

e = Intensitas seismis bidang lurus

γ = berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang lurus

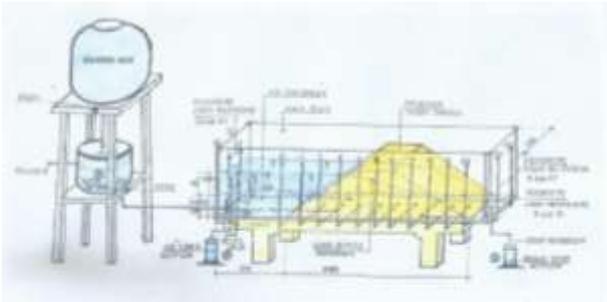
α = sudut kemiringan rata-rata irisan bidang lurus

2. Geostudio 2012 Slope/w versi pelajar

Geostudio 2012 versi pelajar merupakan perangkat lunak di bidang geoteknik. Sedangkan *SLOPE/W* merupakan salah satu bagian dari Geostudio 2012 versi pelajar yang dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dan stabilitas lereng.

G. Kalibrasi

Kalibrasi adalah proses pengecekan dan pengaturan akurasi dari alat ukur. Kalibrasi diperlukan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran yang dilakukan akurat dan konsisten dengan instrumen lainnya. Sedangkan sketsa pemodelan bendungan yang dilaksanakan adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Sketsa Pemodelan Bendungan
Sumber: Kusnan (2009)

METODOLOGI PENELITIAN

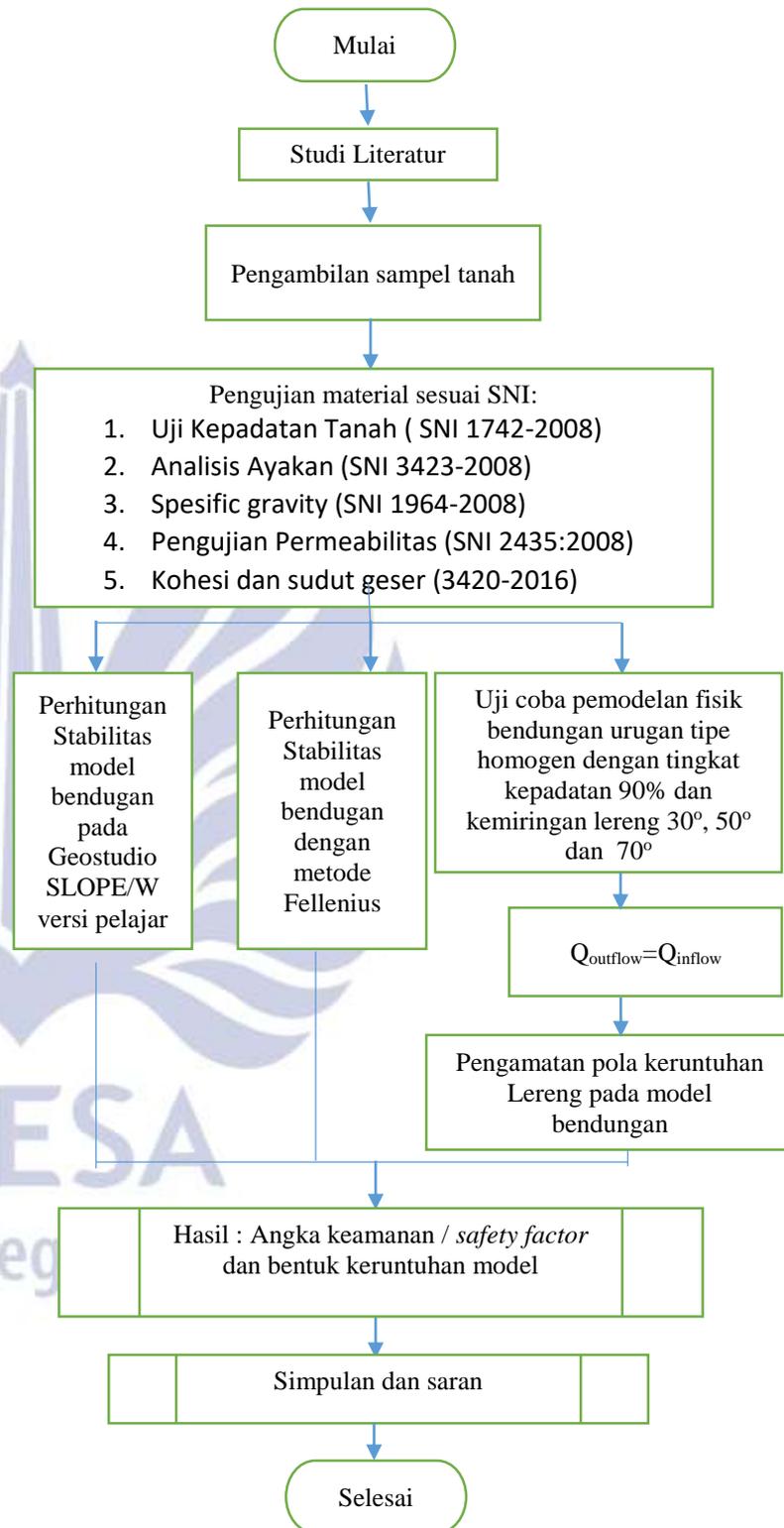
A. Konsep Umum Penelitian

Metode yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode kuantitatif yang mana lebih menekankan pada aspek pengukuran secara objektif terhadap sebuah fenomena. Konsep dalam penelitian ini adalah menganalisis hubungan bentuk / kemiringan lereng terhadap stabilitas pada pemodelan bendungan tipe urugan.

B. Variabel Penelitian

1. Variabel kontrol atau variabel yang diberi perlakuan sama atau tetap pada penelitian adalah ketinggian, lebar tubuh model bendungan serta bahan dan tingkat kepadatan yang digunakan sebagai tubuh model bendungan.
2. Variabel bebas atau variabel yang sengaja dipelajari pengaruhnya terhadap variabel terikat dalam penelitian ini adalah bentuk atau sudut kemiringan lereng bendungan yang akan divariasikan dengan kemiringan 30°, 50°, dan 70°.
3. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah stabilitas tubuh model bendungan serta pola keruntuhan tubuh bendungan setelah dilakukan pembebanan dengan memberikan beban genangan air. Dengan adanya variabel ini diharapkan penelitian ini dapat menunjukkan hubungan keterkaitan antara variabel bebas terhadap variabel terikat ini

C. Diagram Alur (Flow Chart) Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

D. Tempat, Waktu, Dan Sampel Penelian

- Tempat penelitian
Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Waktu Penelitian
Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2019.
- Sampel Penelitian
Sampel tanah yang akan digunakan sebagai zona kedap air dalam penelitian ini merupakan material yang dibuat dari pencampuran pasir dan lempung sehingga didapatkan tanah pasir klempungan.

E. Pemodelan Fisik

Penelitian ini menggunakan pemodelan bendungan urugan tipe homogen dengan skala model fisik 1:40. Model bendungan tersebut dibuat dengan tiga variasi desain lereng bendungan dalam tiga kemiringan yang berbeda, yaitu 30°, 50°, 70°. tinggi model adalah 22 cm dan lebar bawah tubuh bendungan adalah 80 cm oada model fisik, sedangkan lebar bagian atas lereng bergantung pada sudut kemiringan lerengnya.

- Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:
 - Media pemodelan (akuarium)
 - Tandon air
 - Bak penampung air sebagai penampung air sementara sebelum disalurkan menuju media pemodelan
 - Stopwatch
 - Gelas ukur
 - Alat penumbuk tanah
- Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:
 - Tanah tanah untuk timbunan tubuh bendungan
 - Air

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Berdasarkan pengujian karakteristik tanah yang telah dilaksanakan dilaboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya didapatkan hasil sebagai berikut:

- Spesific gravity* (sg) tanah sebesar 2,939 gr/cc
- Kepadatan tanah maksimal sebesar 1,934 gr/cm³ dengan kadar air optimum (OMC) sebesar 14,4%. sedangkan percobaan timbunan dengan dua kali pemadatan setiap 2 cm timbunan dengan berat penumbuk sebesar 3,707 kg dan diuji dengan metode *sand cone* didapatkan kepadatan sebesar 90,85% dari kepadatan maksimalnya
- Gradasi tanah melalui pengujian ayakan tanah didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 1 hasil pengujian gradasi tanah

ANALISA AYAKAN				
		Berat tanah = 500 gr		
# Ayakan	∅ (mm)	Berat tertahan (gr)	% Tertahan	% Lolos
10	2	60.32	12.064	87.94
20	0.85	61.84	12.368	75.57
30	0.6	54.74	10.948	64.62
50	0.3	139.36	27.872	36.75
100	0.15	119	23.800	12.95
200	0.075	43.46	8.692	4.26

Sumber: hasil pengujian

Berdasarkan hasil tersebut tanah diklasifikasikan sebagai tanah pasir menurut Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) dan menurut USCS sebagai tanah SP atau tanah bergradasi buruk.

- Permeabilitas tanah sebesar $2,05 \times 10^{-5}$ cm/dt.
- Kohesi sebesar 0 kg/cm² dan sudut geser sebesar 35°

B. Perhitungan Stabilitas Lereng dengan Metode Fellenius

- Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan nilai *safety factor* pada model bendungan dengan tinggi air tampungan 400 cm (10 cm pada model fisik)

Tabel 2 rekapitulasi perhitungan nilai *safety factor* pada model bendungan dengan tinggi air tampungan 400 cm

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar Bidang Luncur Bundar	Safety Factor Menurut Metode Fellenius	
		hulu	hilir
30		2.720	2.760
50		0.907	1.730
70		0.322	1.321

Sumber: hasil perhitungan

- Berikut ini adalah rekapitulasi perhitungan nilai *safety factor* pada model bendungan dengan tinggi air tampungan 800 cm (20 cm pada model fisik)

Tabel 3 rekapitulasi perhitungan nilai *safety factor* pada model bendungan dengan tinggi air tumpungan 800 cm (20 cm pada model fisik)

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar Bidang Luncur Bundar	Safety Factor Menurut Metode Fellenius	
		hulu	hilir
30		1.758	2.353
50		0.871	1.511
70		0.282	0.276

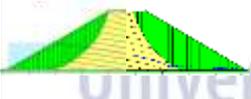
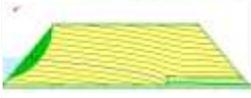
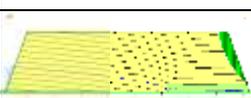
Sumber: hasil perhitungan

Pada tabel hasil perhitungan di atas nilai angka keamanan /*safety factor* bertuliskan warna merah pada tabel tersebut mendandakan bahwa lereng tubuh bendungan tersebut memiliki nilai angka keamanan /*safety factor* kurang dari 1 sehingga diprediksi akan mengalami keruntuhan pada bidang luncur bundar tersebut.

C. Permodelan Bendungan Urugan pada Geostudio 2012 Versi Pelajar

1. Model Bendungan dengan ketinggian air tumpungan 400 cm (10 cm pada model fisik)

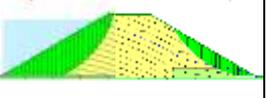
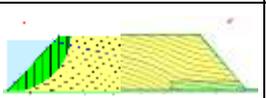
Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Safety Factor* Dengan Batuan Program Geostudio 2012 Versi Pelajar Ketinggian Air Tumpungan 400 Cm (10 Cm Pada Model Fisik)

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar Bidang Longsor Paling Kritis Menurut Geostudio	Safety Factor Menurut Geostudio	
		hulu	hilir
30		1.259	1.463
50		0.608	0.599
70		0.277	0.292

Sumber: hasil perhitungan

2. Model Bendungan dengan ketinggian air tumpungan 800 cm (20 cm pada model fisik)

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Safety Factor* Dengan Batuan Program Geostudio 2012 Versi Pelajar ketinggian air tumpungan 400 cm (10 cm pada model fisik)

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar Bidang Longsor Paling Kritis Menurut Geostudio	Safety Factor Menurut Geostudio	
		hulu	hilir
30		1.619	1.108
50		1.114	0.618
70		0.352	0.292

Sumber: Hasil perhitungan

Pada tabel hasil perhitungan di atas nilai angka keamanan /*safety factor* bertuliskan warna merah pada tabel tersebut mendandakan bahwa lereng tubuh bendungan tersebut memiliki nilai angka keamanan /*safety factor* kurang dari 1 sehingga diprediksi akan mengalami keruntuhan.

D. Pemodelan Fisik Bendungan Urugan

1. Model Bendungan dengan ketinggian air tumpungan 400 cm (10 cm pada model fisik)

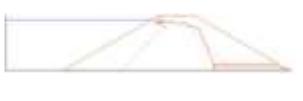
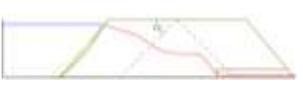
Tabel 6 hasil pengamatan keruntuhan model fisik bendungan dengan ketinggian Air Tumpungan 400 Cm (10 Cm Pada Model Fisik)

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar Keruntuhan yang Terjadi pada Model Fisik	Persentase Keruntuhan Pengamatan (%)
30		0.000
50		0.464
70		1.465

Sumber: hasil pengamatan

2. Model Bendungan dengan ketinggian air tumpungan 800 cm (20 cm pada model fisik)

Tabel 7 hasil pengamatan keruntuhan model fisik bendungan dengan ketinggian Air Tampungan 800 Cm (20 Cm Pada Model Fisik)

Kemiringan Lereng (derajat)	Gambar keruntuhan	Gambar keruntuhan dan Persentase Keruntuhan Pengamatan (%)
30		0.000
50		1.408
70		2.165

Sumber: hasil pengamatan

Simpulan

- Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kemiringan lereng pada model bendungan sangat mempengaruhi tingkat kestabilan tubuh bendungan tipe urugan tanah. Hal ini dapat dilihat dalam setiap hasil perhitungan angka keamanan atau *safety factor* pada masing-masing model bendungan baik yang dianalisis dengan metode Fellenius maupun dengan bantuan program Geostudio Slope/W versi pelajar di komputer. Hal tersebut juga berarti bahwa semakin besar kemiringan lereng tubuh model bendungan urugan tanah (semakin curam), maka semakin rendah nilai angka keamanan atau *safety factor* tubuh bendungan tipe urugan.
- Berdasarkan pengamatan empiris penelitian ini, masing-masing model bendungan memiliki bentuk dan ukuran keruntuhan yang berbeda satu sama lain. Semakin besar kemiringan lereng tubuh model bendungan urugan tanah (semakin curam), maka semakin besar pula keruntuhan yang terjadi pada pengamatan model bendungan. Namun, dalam analisis perhitungan angka keamanan/*safety factor* menurut geostudio 2012 versi pelajar maupun perhitungan menurut metode fellenius dalam penelitian ini tidak menunjukkan korelasi antara besar sudut kemiringan lereng tubuh bendungan terhadap besarnya prediksi keruntuhan / bidang longsor tubuh model bendungan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2008. SNI 1742: *Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- , 2008. SNI 1964: *Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- , 2008. SNI 1965: *Cara Uji Kadar Air Untuk Tanah dan Batuan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- , 2008. SNI 3423: *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- , 2016. SNI 8064 : *Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- , 2017. *Modul analisa stabilitas bendungan: Perhitungan stabilitas Lereng*. Bandung: Kementerian PUPR Badan Pengembangan SDM.
- , 1999. *Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, Volume III (Desain Pondasi dan Tubuh Bendungan)*. Jakarta. DPU Direktorat Jenderal Pengairan Direktorat Bina Teknik Irrigation Engineering Service Bersama Japan International Cooperatio Agency JICA.
- , 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- , 2017. *Stability Modeling with GeoStudio*. Calgary: Geo-Slope International.
- Das, Braja M dkk. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*. Jakarta: Erlangga
- Das, Braja M dkk. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Indrawahyuni, Herlien dkk. 2009. *Pengaruh Variasi Kepadatan Pada Permodelan Fisik Menggunakan Tanah Pasir Berlempung Terhadap Stabilitas Lereng*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Kusnan. 2009. *Model Formulasi Garis Aliran Freatis di Tubuh Bendungan Homogen Tipe Urugan Tanpa Lapis Inti dan dengan Lapis Inti*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Pentawan, Yota. 2017. *Simulasi Penggunaan Program Geostudio Slope/W 2007 Dalam Menganalisis Stabilitas Lereng Dengan Jenis. Tanah Lempung Berpasir Pada Kondisi Tidak Jenuh, Kondisi Jenuh Sebagian, Dan Kondisi Jenuh*. Bandar Lampung: Universitas Lampung.
- Ridwan, M. (2003) *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah I*. Surabaya: State University of Surabaya Press.
- Sekarwati, Suci. 2019. *Tempo.co*. Januari 26. Accessed Februari 19, 2019. <https://dunia.tempo.co/read/1169118/bendungan-di-brazil-jebol-200-orang-masih-hilang/full&view=ok>.
- Simatupang, Togar M. 1994. *Pemodelan Sistem*. Bandung: Nindita klaten.
- Takeda, Kensaku, dan Suyono Sosrodarsono. 1981. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.