

ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN LERENG TERHADAP ALIRAN FILTRASI PADA MODEL BENDUNGAN TIPE URUGAN HOMOGEN

Muhammad Khoirunnas

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : mkhoirunas@gmail.com

Kusnan

Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : cwiksn@yahoo.co.id

Abstrak

Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan sebuah bendungan, yaitu stabilitas bendungan terhadap rembesan air yang mengalir melalui tubuh bendungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pola aliran rembesan air yang terjadi pada tubuh bendungan dan menghitung debit rembesan yang terjadi. Penelitian ini menggunakan pemodelan bendungan tipe urugan homogen. Material diambil dari lokasi konstruksi bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur. Model ini berbentuk trapesium dengan panjang model adalah 80 cm (3200 cm), tinggi model adalah 22 cm (880 cm) dan lebar bawah tubuh bendungan adalah 44 cm (1760 cm), sedangkan lebar bagian atas lereng/ mercu bendungan bergantung pada sudut kemiringan lerengnya. Variasi kemiringan lereng 30° , 50° , dan 70° serta dengan tingkat kepadatan tubuh bendungan sebesar $\pm 90\%$. Bagian hilir pada model ini dipasang drainase sepanjang 30 cm dan tebal 2 cm. Ada dua kesimpulan yang didapatkan dari kedua metode, yaitu: uji model fisik (empiris) dan metode *casagrande* (teoritis). Pertama, semakin besar sudut lereng maka ketinggian tekanan air rata-rata atau pola aliran rembesan akan mengalami penurunan dan bentuk pola aliran rembesan semakin landai. Kedua, semakin besar sudut lereng maka debit rembesan yang dihasilkan akan semakin mengecil dan begitu juga sebaliknya.

Kata Kunci: Rembesan, Sudut lereng, Bendungan Urugan Homogen, Uji model fisik, *Casagrande*

Abstract

One of the things that need to be considered in planning a dam, is the stability of the dam against the water seepage flowing through the dam body. This research aims to observe the flow pattern of water seepage that occurs in the dam body and calculate the discharge of the seepage occurring. The research uses the homogeneous fill dam modeling. The material taken from construction site of Tugu Dam Project, Trenggalek, East Java. This model is trapezoidal with the length of the model is 80 cm (3200 cm), the model height is 22 cm (880 cm) and the bottom width of the dam body is 44 cm (1760 cm), while the upper width of the slope/top point depends on the angle of the slope. The variation of slope is 30° , 50° , and 70° and with a dam body density of $\pm 90\%$. The downstream in this model is fitted 30 cm long drainage and 2 cm high.

There are two conclusions gained in this study from both methods are Physical model test (empirical) and Casagrande (theoretical) method. First, the larger the angle of slope then the average height of water pressure or seepage flow pattern will decrease and the shape of the flow pattern seepage is more sloping. Second, the larger the angle of slope, then the resulting discharge of the seepage will be increased and vice versa.

Keywords: *Seepage, The Angle Of Slope, Homogeneous Fill Dam, Physical Model Test, Casagrande*

PENDAHULUAN

Menurut SNI 8062:2015 pasal 3.2, bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk. Bendungan mempunyai fungsi sebagai pembangkit tenaga listrik (PLTA), irigasi (pengairan), pengendali banjir, penyediaan air minum dan untuk industri, perikanan darat, pariwisata dan lain-lain (Soedibyo, 2003:5).

Bendungan urugan menurut Sosrodarsono & Kensaku (1981:11) adalah suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, krakal, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi meninggikan permukaan air yang terdapat di dalam waduk di hulunya. Kelebihan bendungan urugan, yaitu: pembangunannya dapat dilaksanakan pada hampir semua kondisi geologi dan geografi yang dijumpai dan bahan untuk tubuh bendungan dapat menggunakan bahan yang berada di sekitar calon bendungan (Sosrodarsono & Kensaku, 1981:14-15). Sedangkan bendungan urugan homogen adalah bendungan urugan yang material

pembentuknya terdiri atas tanah yang hampir sejenis dan gradasinya seragam. Keruntuhan bendungan urugan homogen kemungkinan besar diakibatkan oleh gaya-gaya yang timbul dari pola aliran rembesan air.

Salah satu hal yang perlu dipertimbangkan dalam merencanakan sebuah bendungan, yaitu stabilitas bendungan terhadap rembesan air yang mengalir melalui tubuh bendungan. Analisa stabilitas tubuh bendungan terhadap filtrasi (rembesan) sangat diperlukan dalam perencanaan sebuah bendungan. Rembesan air pada bendungan adalah aliran yang secara terus-menerus mengalir dari hulu menuju hilir melalui material yang lulus air (*permeable*) pada tubuh bendungan. Faktor yang mempengaruhi rembesan air pada tubuh bendungan adalah bentuk dan karakteristik bahan timbunan bendungan. Bila volume rembesan air terlalu besar dapat mengakibatkan terganggunya pengoperasian bendungan, hingga rawan terjadinya longsor dan keruntuhan pada bendungan, bahkan lebih parahnya lagi dapat mengakibatkan bencana jebolnya bendungan.

Pada penelitian ini dipilih bendungan urugan homogen dikarenakan apabila ditinjau dari sudut pelaksanaan pembangunannya, bendungan urugan homogen ini sangat sederhana dibanding dengan bendungan urugan type-type yang lain (Sosrodarsono & Kensaku, 1981:120). Penelitian ini bertujuan untuk mengamati pola aliran rembesan air atau pola formasi garis depresi (*seepage line formation*) yang terjadi pada tubuh bendungan dan menghitung debit rembesan yang terjadi di pemodelan. Pada pemodelan bendungan ini, variabel yang divariasikan adalah kemiringan lereng bendungan atau sudut lereng. Pada penelitian ini menggunakan material yang berasal dari bendungan Tugu, Trenggalek, Jawa Timur. Hal ini dikarenakan material timbunan sudah teruji dan memenuhi SNI 8064:2016 serta sudah diterapkan dalam pembangunan bendungan Tugu. Dengan adanya pemodelan fisik ini diharapkan dapat diperkirakan pola aliran rembesan air dan debit rembesan yang sebenarnya terjadi di bendungan.

KAJIAN PUSTAKA

A. Bendungan

Bendungan merupakan salah satu jenis bangunan air yang berfungsi sebagai penahan aliran air sehingga air dapat mengumpul pada daerah hilir saluran yang dibendung sehingga 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. Di sisi lain air yang dibendung oleh sebuah bendungan dapat pula digunakan sebagai tempat pembudidayaan ikan dan

juga tempat wisata, serta dapat pula digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga air.

Menurut SNI 8062:2015 pasal 3.2, bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk.

B. Bendungan Urugan

Definisi bendungan urugan menurut Sosrodarsono & Kensaku (1981:11) adalah suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti : batu, krakal, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk di udiknya.

Menurut SNI 8062:2015 pasal 3.3, bendungan urugan adalah bendungan yang terbuat dari bahan urugan dari borrow area yang dipadatkan dengan menggunakan vibrator roller atau alat pemadat lainnya pada setiap hamparan dengan tebal tertentu.

C. Klasifikasi Bendungan Urugan

Menurut Sosrodarsono & Kensaku (1981:11) ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan, maka bendungan urugan dapat diklasifikasikan menjadi 3 tipe utama, yaitu: Bendungan Urugan Homogen, Zonal dan Bersekat. Untuk klasifikasi umum bendungan urugan ditunjukkan pada Gambar 1.

Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Tirai		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
Bendungan Zonal		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
Bendungan 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 bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Gambar 1. Klasifikasi Umum Bendungan Urugan

Sumber: Sosrodarsono & Kensaku (1981:12)

D. Tanah

Menurut pernyataan Das (1988:1) tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak terikat secara kimia antar satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk yang disertai dengan rongga-rongga kosong diantara butiran-butiran tanah tersebut dan diisi dengan zat cair dan gas. Tanah

mempunyai peranan sangat penting dalam teknik sipil, yaitu sebagai material pembentuk suatu bangunan maupun sebagai pendukung pondasi dari suatu bangunan.

E. Permeabilitas

Menurut Das (1988:79), tanah merupakan susunan dari butiran-butiran padat yang memiliki pori-pori, sehingga air dapat mengalir melalui pori-pori tersebut. Air mengalir dari titik yang memiliki energi lebih besar ke titik yang memiliki energi lebih rendah. Studi mengenai aliran air yang melalui pori-pori tanah ini sangat diperlukan karena hal ini sangat berguna untuk mengestimasi jumlah rembesan air dalam tanah, untuk menyelidiki permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan pemompaan air untuk konstruksi bawah tanah, untuk menganalisis kestabilan dari suatu bendungan tanah dan konstruksi dinding penahan tanah yang terkena gaya rembesan.

Permeabilitas adalah kemampuan tanah untuk mengalirkan fluida melalui pori-pori tanah. Semakin tinggi permeabilitasnya maka tanah tersebut mudah untuk dialiri fluida dan begitu juga sebaliknya. Kemampuan suatu material untuk mengalirkan cairan dinyatakan dalam bentuk koefisien permeabilitas atau koefisien rembes atau daya hantar fluida (*hydraulic conductivity*), diberi symbol "k". Menurut Das (1988:84), Untuk masing-masing tanah harga koefisien rembesannya berbeda-beda. Berikut adalah beberapa harga koefisien rembesan (k) untuk berbagai jenis tanah pada temperatur 20 °C, diberikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Harga-harga koefisien rembesan pada umumnya

Jenis Tanah	Koef. Permeabilitas (k)
	cm/det
Kerikil Bersih	1-10 ²
Pasir Kasar	1-10 ⁻²
Pasir Halus	10 ⁻² -10 ⁻³
Lanau	10 ⁻³ -10 ⁻⁵
Lempung	< 10 ⁻⁶

Sumber: Das (1988:84)

F. Perhitungan Debit Air Rembesan dan Pola Aliran Rembesan Air di Bendungan

1) Metode Casagrande

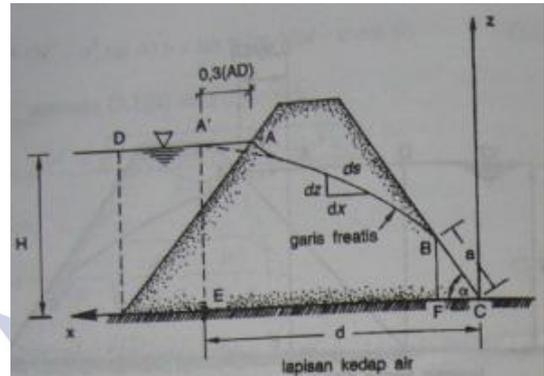
Metode *casagrande* (1937) memberikan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang berasal dari pengujian model seperti pada **Gambar 2**. Parabola AB berawal dari titik A' seperti yang diperlihatkan pada gambar, dengan A'A = 0,3 x AD. Pada modifikasi ini, nilai d yang digunakan dalam persamaan akan merupakan jarak horizontal antara titik E dan C.

Dengan kesalahan sebesar kira - kira 4 - 5 %, s dapat dianggap merupakan garis lurus A'C, maka, $s = \sqrt{(d^2 + H^2)}$(2.21)

Kombinasi persamaan memberikan $a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 - H^2 \text{ctg}^2 \alpha)}$ (2.22)

Besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan

$q = k a \sin^2 \alpha$(2.23)

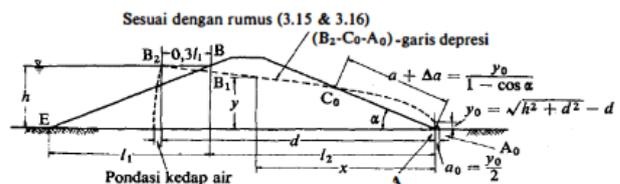


Gambar 2. Hitungan Rembesan Cara *Casagrande*
Sumber : Hardiyatmo (2002:238)

Menurut pernyataan Sosrodarsono & Kensaku (1981:156), Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh bendungan terhadap gaya-gaya dari air filtrasi yang mengalir melalui celah-celah antara butiran-butiran tanah pada tubuh bendungan, maka diperlukan penelitian terhadap formasi garis depresi (*seepage line formation*) dalam tubuh bendungan.

Formasi garis depresi (*seepage line formation*) atau garis freatis (parabola rembesan) adalah garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan yang memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan. Pada garis ini terdapat dua titik kritis, yaitu pada titik perpotongan antara permukaan air bendungan dan lereng hulu bendungan dan titik perpotongan antara garis parabola dengan lereng hilir bendungan.

Formasi garis depresi (*seepage line formation*) dapat diperoleh dari metode *Casagrande*. Pada **Gambar 3**, ujung tumit hilir bendungan dianggap sebagai titik permulaan koordinat dengan sumbu-sumbu x dan y, maka garis depresi dapat diperoleh dengan persamaan parabola bentuk dasar sebagai berikut:



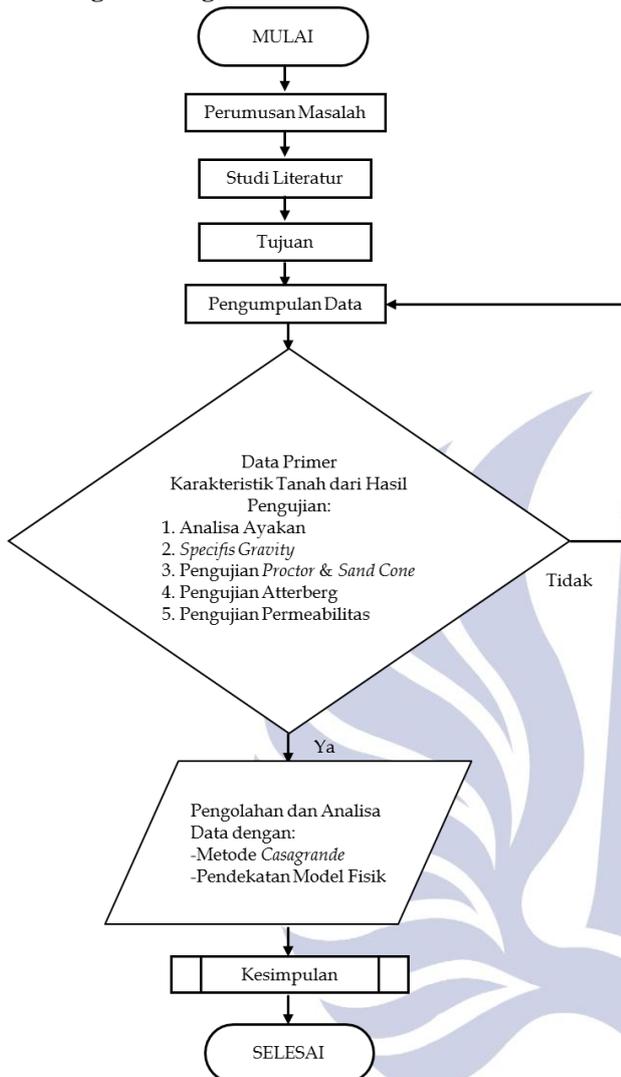
Gambar 3. Garis depresi pada bendungan homogen (sesuai dengan garis parabola)

Sumber: Sosrodarsono & Kensaku (1981:156)

$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0}$(2.24)

model bendungan tipe urugan homogen serta ketinggian air didalam tampungan.

C. Langkah-Langkah Penelitian



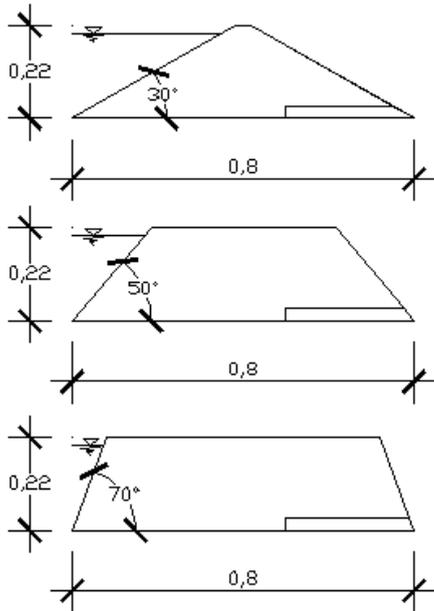
Gambar 7. Diagram Alir (Flowchart) Penelitian

Sumber: Dokumen pribadi

D. Pembuatan Model

Pada penelitian ini, akan digunakan pemodelan bendungan tipe urugan homogen. Bendungan dibuat dalam model di laboratorium dan dibuat dengan desain lereng bendungan dalam tiga kemiringan yang berbeda, yaitu 30°, 50°, 70° panjang model adalah 80 cm, tinggi model adalah 22 cm dan lebar bawah tubuh bendungan adalah 44 cm, sedangkan lebar bagian atas lereng/mercu bendungan bergantung pada sudut kemiringan lerengnya. Tubuh bendungan dibuat dari timbunan tanah homogen (gradasi tanah seragam) yang lolos ayakan No. 4 sesuai ASTM D 422 dengan kepadatan ± 90 %. Material tanah berasal dari Trenggalek, Jawa Timur. Sedangkan pembuatan pemodelan bendungan akan dilaksanakan sebagai berikut:

- 1) Persiapan bahan yang akan digunakan sebagai bahan pemodelan bendungan yang meliputi tanah homogen dan air.
- 2) Persiapan peralatan yang digunakan pada penelitian yaitu berupa selang, tandon air, kaca sebagai alat model fisik dengan ketebalan 10 mm dan tinggi wadah yaitu 120 cm x 44 cm x 37 cm. Selang – selang yang berfungsi sebagai piezometer dipasang pada dinding arah memanjang kaca sebanyak 11 buah dengan jarak setiap selang 6 cm. Alat ini sudah ada dan terletak di Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil Universitas Negeri Surabaya. Nantinya akan di rekayasa sedemikian rupa menyesuaikan penelitian yang akan dilakukan. Alat tersebut hanya sebagai sarana pengujian penelitian ini.
- 3) Pembuatan model bendungan urugan dengan ukuran yang telah disiapkan pada kaca alat model fisik. Tubuh bendungan dibuat dari timbunan tanah homogen yang lolos ayakan ASTM No. 4 dengan kepadatan ± 90 %. Yang dipadatkan dengan menggunakan alat penumbuk. Model berbentuk trapesium dengan sudut kemiringan lereng sesuai yang divariasikan. Dan dibuat drainase pada dasar model tubuh bendungan pada bagian hilir dengan material krikil. Drainase ini mempunyai dimensi 30 x 3 x 44 cm.
- 4) Air yang terdapat pada tandon kemudian dialirkan dengan selang pada bagian hulu tubuh bendungan sebagai daerah genangan dengan tinggi muka air sebesar dari hasil uji kalibrasi.
- 5) Pembacaan dilakukan pada selang – selang yang berfungsi sebagai piezometer yang dipasang pada dinding arah memanjang kaca sebanyak 11 buah. Pembacaan dilakukan pada ketinggian air sudah mencapai 10 cm (400 cm) dan 20 cm (800 cm) didalam tampungan.
- 6) Proses pembacaan bisa dimulai saat kondisi sudah konstan. Hal ini terjadi apabila dalam proses pengisian tampungan (Qi) dan rembesan ditambah luberan (Q0) kondisinya seimbang. Artinya bila debit rembesan dan luberan air sebagai outflow telah sama dengan debit yang masuk ke dalam tampungan atau inflow. Sehingga pola aliran rembesan atau garis depresi nya mengalami kestabilan. Pengukuran debit dapat dilakukan dengan cara mencatat volume air di gelas ukur yang dicapai dibagi waktu yang dibutuhkan untuk mencapai volume tersebut. Pengukuran waktu dengan menggunakan *stopwatch*.
- 7) Setelah itu, bendungan dibuat kembali dan selanjutnya dilakukan running dengan variasi kemiringan lereng yang berbeda pada tubuh bendungan.



Gambar 8 Sketsa model tubuh bendungan 2D
 Sumber: Hasil Perencanaan Desain Bendungan

Analisa Ayakan (<i>Sieve Analysis</i>)	Gravel = 0% Sand = 95,74% Silt + Clay = 4,26%
Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity Test</i>)	2,939 gr/cc
Uji Permeabilitas Metode <i>Constant Head</i>	$2,05 \times 10^{-3}$ cm/dt
Pengujian Kepadatan Tanah a. <i>Standart Proctor Test</i> b. <i>Sand Cone Test</i>	a. $\gamma_d \text{ max} = 1,934$ gr/cm ³ b. $\gamma_d = 1,757$ gr/cm ³
Derajat Kepadatan Tanah	D = 90,85%
Pengujian Atterberg a. Batas Cair (<i>Liquid Limit</i>) b. Batas Plastis (<i>Plastic Limit</i>) c. Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>)	a. LL = tidak ada b. PL = tidak ada c. SL = 18,75%

Sumber: Hasil Perhitungan

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Dari serangkaian pengujian sifat fisik tanah, maka didapatkan hasil dari karakteristik tanah tersebut seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Karakteristik Tanah

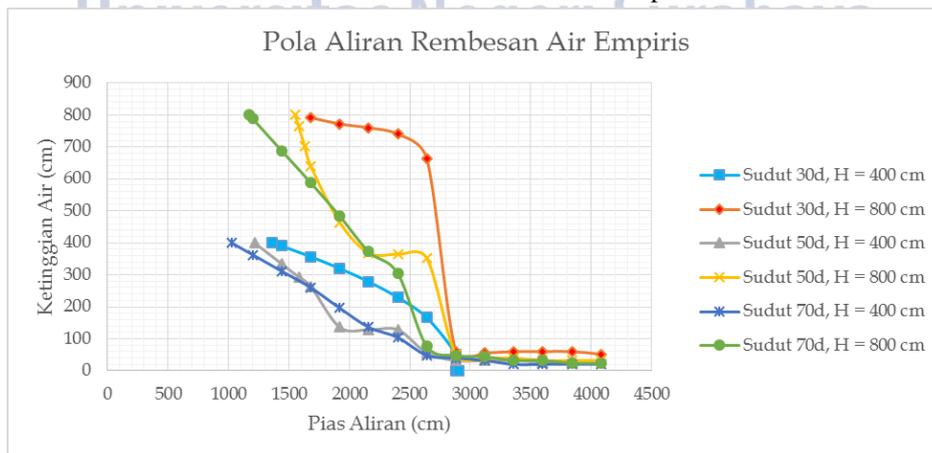
Karakteristik	Nilai
USCS	Termasuk jenis tanah SP (<i>Sand-Poorly graded</i>). Maksudnya adalah pasir bersih yang mempunyai gradasi buruk dan campuran kerikil pasir, sedikit atau sama sekali tidak mengandung butiran halus.

B. Analisa Hasil Penelitian

1) Berdasarkan Empiris

Pada saat uji simulasi pemodelan bendungan urugan homogen di alat rancang model fisik, harus dicapai kondisi konstan maksudnya pemberian debit pada saat pengisian air tampungan (Q_i) dan rembesan (Q_0) ditambah luberan harus seimbang. Dengan adanya kondisi debit inflow telah sama dengan debit outflow ditambah luberan, maka pola aliran rembesan terjadi pada pemodelan fisik juga mengalami kestabilan. Pada penelitian ini pembacaan piezometer dilakukan selang interval 30 menit tiap ketinggian air dan tiap kemiringan lereng selama +24 jam. Berikut **Grafik 1** adalah hasil dari pembacaan pola rembesan air untuk ketinggian tampungan air (H) sebesar 10 cm (400 cm) dan 20 cm (800 cm) untuk sudut kemiringan lereng 30°, 50° dan 70°.

Grafik 1. Pola aliran rembesan air empiris

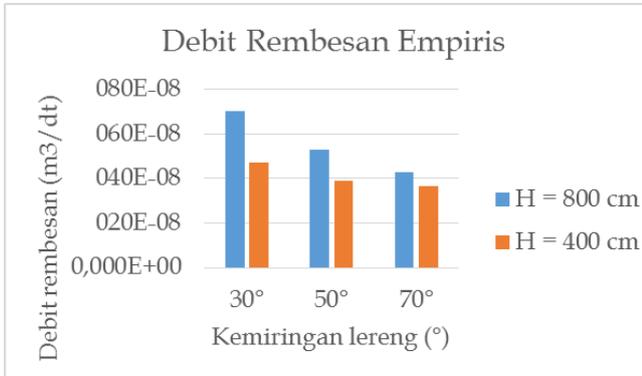


Sumber: Hasil Pengamatan

Berdasarkan **Grafik 1**, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng, maka ketinggian tekanan air di piezometer 0 s/d 10 rata-rata akan mengalami penurunan.

Pada **Grafik 2** akan ditampilkan hasil dari pembacaan debit rembesan di hilir tubuh bendungan berdasarkan uji model fisik (empiris).

Grafik 2. Debit rembesan empiris



Sumber: Hasil Perhitungan

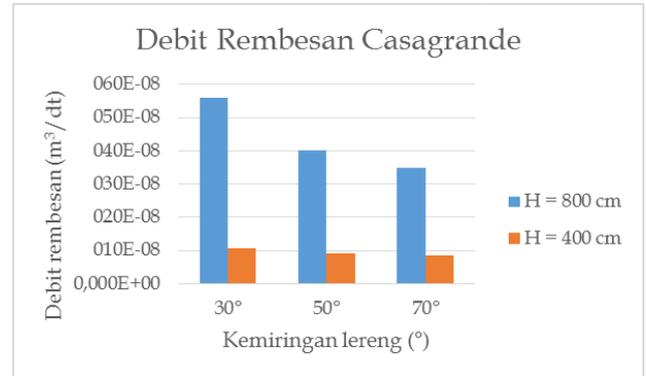
Berdasarkan **Grafik 2**, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng, maka debit rembesan yang dihasilkan di hilir tubuh bendungan

berdasarkan uji model fisik (empiris) akan mengalami penurunan.

2) **Berdasarkan Teoritis**

Pada penelitian ini menggunakan teori *Casagrande* untuk menghitung debit rembesan dan pola aliran rembesan air pada pemodelan bendungan.

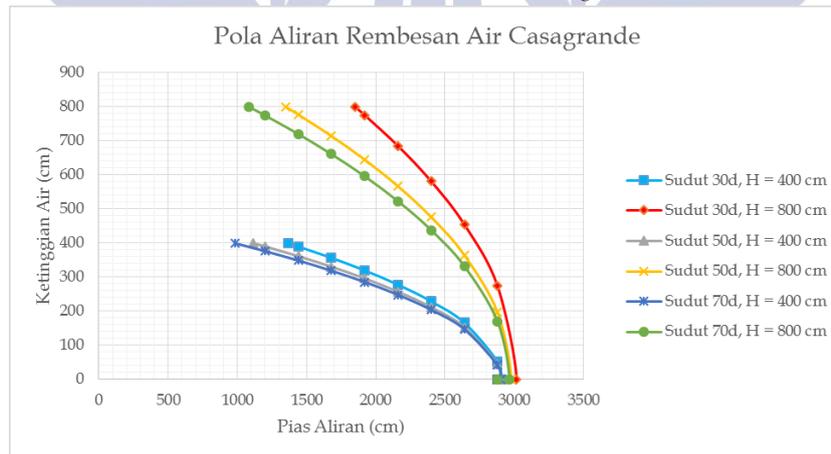
Grafik 3. Debit rembesan metode *casagrande*



Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Grafik 3**, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng pada bendungan urugan homogen berdrainase, maka debit rembesan yang dihasilkannya semakin kecil.

Grafik 4. Pola aliran rembesan *casagrande*



Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Grafik 4** Pola aliran rembesan *casagrande*, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng, maka pola rembesan yang ditunjukkan semakin landai dan ketinggian tekanan rembesan air semakin menurun.

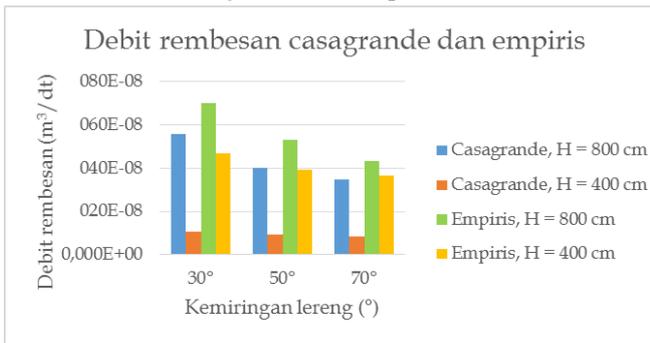
C. Hubungan Antara Kemiringan Lereng dengan Pola Rembesan dan Debit Rembesan

Tabel 3. Perbandingan Debit Rembesan Antara *Casagrande* dan Empiris

Debit Rembesan m³/s	H (cm)	<i>Casagrande</i>	Empiris
Sudut 30°	800	5,60,E-07	7,03E-07
	400	1,06,E-07	4,71E-07
Sudut 50°	800	4,01,E-07	5,30E-07
	400	9,14,E-08	3,91E-07
Sudut 70°	800	3,47,E-07	4,31E-07
	400	8,51,E-08	3,66E-07

Sumber: Hasil Perhitungan

Grafik 5. Perbandingan Debit Rembesan Antara *Casagrande* dan Empiris



Sumber: Hasil Perhitungan

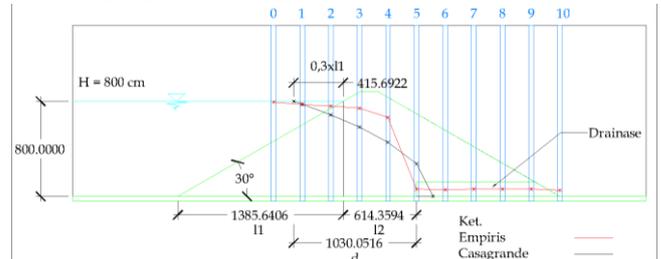
Berdasarkan **Grafik 5**, dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang cukup besar antara debit rembesan perhitungan teoritis dengan menggunakan metode *casagrande* dan perhitungan empiris yang berasal dari pembacaan debit rembesan di hilir tubuh bendungan berdasarkan uji model fisik (empiris). Hal ini dikarenakan pada perhitungan teoritis dengan menggunakan metode *casagrande* tidak memperhitungkan nilai gradasi butiran tanah, kadar air tanah, kepadatan tubuh bendungan, koefisien permeabilitas material drainase. Pada perhitungan empiris ada beberapa faktor, yaitu disebabkan oleh faktor alat dan kesalahan peneliti. Faktor alat yang menyebabkan perbedaan hasil yang cukup besar dimungkinkan karena kurangnya ketelitian pada alat tersebut dan kemungkinan terjadinya kebocoran pada alat uji model fisik tersebut. Dan untuk faktor kesalahan peneliti terjadi pada saat waktu pencampuran material antara pasir dan lempung dan waktu pemadatan.

Jadi, dapat ditarik kesimpulan dari metode *casagrande* (teoritis) dan uji model fisik (empiris) bahwa semakin besar sudut lereng atau kemiringan lereng, maka debit rembesan yang dihasilkan akan semakin mengecil dan begitu juga sebaliknya.

Pada **Gambar 9** sampai dengan **Gambar 14** adalah perbandingan antara pola aliran rembesan dengan metode *casagrande* dan pola aliran rembesan pada uji model fisik dengan cara pembacaan tekanan rembesan air pada titik piezometer no. 0 s/d 10 yang jika dihubungkan titik-titik ketinggian pada piezometer tersebut akan terbentuk pola aliran rembesan.

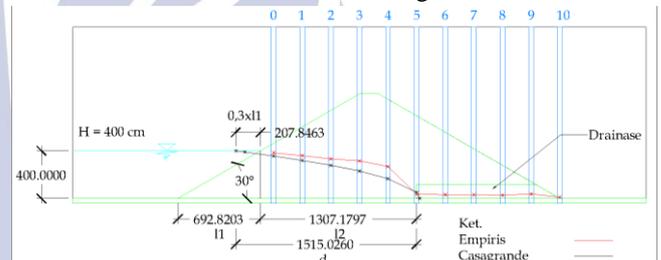
Berdasarkan **Gambar 9** sampai dengan **Gambar 14**, dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan antara pola aliran rembesan dengan metode *casagrande* dan pola aliran rembesan pada uji model fisik. Pada pola aliran rembesan metode *casagrande* titik akhir pola aliran rembesan tidak mencapai lereng hilir tubuh bendungan sedangkan pada uji model fisik, titik akhir

pola aliran rembesan melewati lereng hilir tubuh bendungan dan pada uji model fisik untuk sudut kemiringan lereng 50° dan 70°, pola aliran rembesannya dibagian hulu tubuh bendungan tidak dapat tergambar karena kurangnya titik piezometer pada alat model fisik. Terjadinya perbedaan tersebut juga dapat disebabkan oleh alat uji model fisik tersebut, seperti mungkin sedikit tersumbatnya lubang piezometer yang dapat mempengaruhi ketinggian tekanan rembesan air.



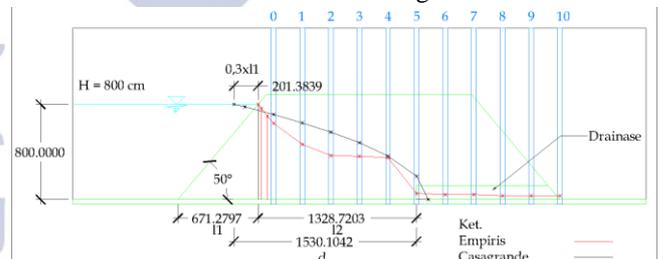
Gambar 9. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 30° ketinggian air 20 cm (800 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan



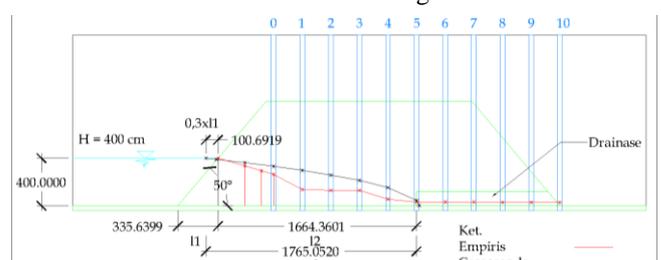
Gambar 10. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 30° ketinggian air 10 cm (400 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan



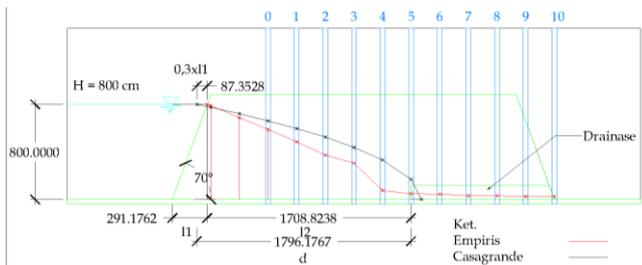
Gambar 11. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 50° ketinggian air 20 cm (800 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan



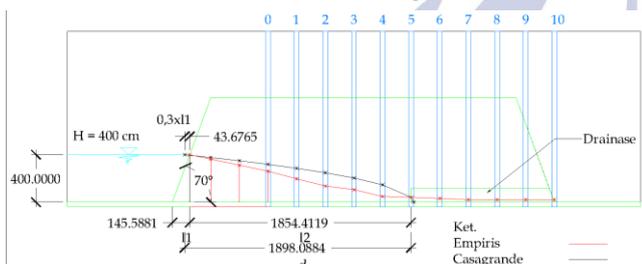
Gambar 12. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 50° ketinggian air 10 cm (400 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 13. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 70° ketinggian air 20 cm (800 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 14. Perbandingan antara pola aliran rembesan *casagrande* dan empiris sudut 70° ketinggian air 10 cm (400 cm)

Sumber: Hasil Perhitungan

Jadi, dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng, maka ketinggian tekanan air rata-rata atau pola aliran rembesan akan mengalami penurunan dan bentuk pola aliran rembesan semakin landai.

SIMPULAN

Pada analisis hasil data dari kegiatan penelitian ini, yang mempunyai judul “ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN LERENG TERHADAP ALIRAN FILTRASI PADA MODEL BENDUNGAN TIPE URUGAN HOMOGEN”, maka dapat diambil kesimpulan seperti dibawah ini, yaitu:

1. Kemiringan lereng bendungan sangat berpengaruh terhadap pola aliran rembesan air. Pada penelitian ini, pola aliran rembesan air diperoleh dari uji model fisik (empiris) dan metode *casagrande* (teoritis). Jadi, dari kedua metode diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin besar sudut lereng atau semakin curam kemiringan lereng, maka ketinggian tekanan air rata-rata atau pola aliran rembesan akan mengalami penurunan dan bentuk pola aliran rembesan semakin landai.
2. Kemiringan lereng bendungan juga sangat berpengaruh terhadap debit rembesan air. Hal ini

dapat dilihat pada kedua metode, yaitu: metode *casagrande* (teoritis) dan uji model fisik (empiris). Jadi, dapat diambil kesimpulan dari bahwa semakin besar sudut lereng atau kemiringan lereng, maka debit rembesan yang dihasilkan akan semakin mengecil dan begitu juga sebaliknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2004. *Pd M-01-2004-A tentang Uji mutu konstruksi tubuh bendungan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Departemen Permukiman Dan Prasarana Wilayah.
- . 2008. *SNI 1742-2008 : Cara Uji Kepadatan Ringan Untuk Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 1964-2008 : Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 1966-2008 : Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 1967-2008 : Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 2435-2008 : Cara Uji Kelulusan Air Benda Uji Tanah di Laboratorium dengan Tekanan Tetap*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 3422-2008 : Cara Uji Penentuan Batas Susut Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2008. *SNI 3423-2008 : Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Jakarta: BSN.
- . 2011. *SNI 2828-2011 : Metode Uji Densitas Tanah di Tempat (Lapangan) dengan alat konus pasir*. Jakarta: BSN.
- . 2012. *SNI 7754-2012 : Tata cara penentuan gradasi bahan filter pelindung*. Jakarta: BSN.
- . 2014. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- . 2015. *SNI 8062-2015 : Tata-tata cara desain bendungan tipe urugan*. Jakarta: BSN.
- . 2016. *SNI 8064-2016 : Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: BSN.
- Azmeri , Maimun Rizalihadi, dan Irma Yanita. 2013. “Observasi Garis Freatis pada Model Bendungan Berdasarkan Kepadatan Tanah.” *Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*.
- Das, Braja M. 1988. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2002. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS.
- . 2012. *Mekanika Tanah 1*. Yogyakarta: GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS.

- Ilmiatul, Nur. 2016. "Kajian Garis Freatis pada Tubuh Bendungan Urugan untuk Mengatasi Rembesan Berdasarkan Kepadatan Tanah Modifikasi dengan Uji Model Fisik." *Sarjana Thesis* (Universitas Brawijaya).
- Kusnan, dkk. 2017. *MODEL ALAT RANCANG BANGUN UNTUK MENENTUKAN GARIS ALIRAN REMBESAN AIR (SEEPAGE LINE FORMATION) DI TIMBUNAN BENDUNGAN TIPE URUGAN HOMOGEN*. SURABAYA: UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.
- Ridwan, Machfud, dan Nur Andajani. 2012. *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah 1*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya.
- . 2012. *Petunjuk Praktikum Mekanika Tanah 2*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya.
- Simatupang, Togar. M. 1995. *Pemodelan Sistem*. Bandung: NINDITA Klaten.
- Soediby, Ir. 2003. *Teknik Bendungan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sosrodarsono, Ir. Suyono, dan Kensaku Takeda. 1981. *Bendungan Type Urugan*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Sukirman. 2014. "ANALISIS REMBESAN PADA BENDUNG TIPE URUGAN MELALUI UJI HIDROLIK DI LABORATORIUM HIDRO FT UNSRI." *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*.
- Tim. 2015. *Menulis Ilmiah: Buku Ajar MPK Bahasa Indonesia*. Surabaya: Unesa University Press.

