

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teknik Sipil Unsyiah merupakan wadah bagi seluruh civitas akademika dibidang konstruksi dan lingkungan mengembangkan dan menginformasikan perkembangan teknologi dan pengetahuan.

Frekuensi terbit tiga kali setahun pada bulan September, Januari, dan Mei.

DAFTAR ISI

Peningkatan Kinerja Saluran Drainase Kota Langsa Berdasarkan Penataan Ruang <i>Alfiansyah Yulianur BC, Sugianto, Eka Mutia</i>	1 - 8
Pemodelan Fisik Bendungan Untuk Pengamatan Garis Freatis Berdasarkan Kemiringan Lereng Sebelah Hulu <i>Azmeri, Maimun Rizalihadi, Rima Vinanda</i>	9 - 16
Prediksi Lokasi Rawan Pembendungan Alami Pada Daerah Aliran Sungai Sebagai Mitigasi Bencana Banjir Bandang (Das Krueng Teungku-Kecamatan Seulimum-Aceh Besar-Provinsi Aceh) <i>Dirwan, Azmeri, Amir Fauzi</i>	17 - 26
Studi Kedalaman Gerusan Lokal Pada Pilar Jembatan Simpang Surabaya Krueng Aceh, Banda Aceh <i>Eldina Fatimah</i>	27 - 36
Studi Perencanaan Dan Pengelolaan Bangunan Sarana Air Bersih Berbasis Partisipasi Masyarakat Di Desa Paya Beke <i>Ziana, Suhendrayatna, Mulyadi</i>	37 - 46
Hubungan Parameter Kuat Geser Langsung Dengan Indeks Plastisitas Tanah Desa Neuheun Aceh Besar <i>Marwan, Reza P. Munirwan, Devi Sundary</i>	47 - 56
Model Pemilihan Moda Angkutan Umum (Studi Kasus Rute Meulaboh – Banda Aceh) <i>Irfan, M. Isya, Renni Anggraini</i>	57 - 66
Analisis Stabilitas Beton Aspal AC-BC Didasarkan Dari Variasi Suhu Pencampuran Pada Kondisi Suhu Pemadatan Minimum Dengan Bahan Pengikat Aspal Retona Blend 55 <i>Nurlely, Fitrika Mita Suryani, Yuseva</i>	67 - 78
Pengaruh Distribusi Tulangan Geser Terhadap Kuat Geser Beton Ringan Busa Berserat Nylon Dengan Metode <i>Push - Off</i> <i>M. Ali Akoeb, Abdullah</i>	79 - 90
Pengaruh Variasi Penambahan Air Dan Semen Pada Suatu Perencanaan Campuran (<i>mix design</i>) Terhadap Susut Beton Dan Kuat Tarik Belah Beton (Suatu Penelitian Beton Dengan FAS 0,3, 0,4 Dan 0,5) <i>T. Budi Aulia, Mohammad Ali Akoeb</i>	91 - 102

PEMODELAN FISIK BENDUNGAN UNTUK PENGAMATAN GARIS FREATIS BERDASARKAN KEMIRINGAN LERENG SEBELAH HULU

Azmeri¹, Maimun Rizalihadi², Rima Vinanda²

^{1,2)}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111, azmeri73@yahoo.com

³⁾Alumni Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala, email: rimavinanda90@gmail.com

Abstract: Seepage problems that often appeared on a main-dam. The purpose of this study is to observe the flow pattern of phreatic line that occur on the dam body and to count the seepage discharge that come about. This research was conducted using the seepage body model that made from yellowish clay with 70 % levels of density and had $4,9 \times 10^{-7}$ permeability values which variating upstream slope angle. The amount of upstream slope angle that variated was $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, and $52,74^\circ$, whereas the downstream was $50,33^\circ$. This model test research utilized 10 mm thick glass vassel with 180 cm length, 44 cm width, and 68 cm high as well as 1 : 25 scale from the old researcher. This research had 3 high water catchment variations, those were 35 cm, 45 cm, and 55 cm. In this research, in the $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, and $52,74^\circ$ upstream slope angle, only in the 55 cm water catchment condition that meet Cassagrande Method. The amount of discharge produced from the calculation and physical modelling each for are for $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, $52,74^\circ$ was $6,01 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ and $7,96 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$, $5,37 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ and $7,21 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$, $5,81 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ and $7,65 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$. The discharge differenciation from the calculation result and the research showed that calibration modeling is not yet perfect. The result, obtaining from this study represented that the dam body condition accompanied by variating the upstream slope angle also affects the size of the seepage that occurs.

Keywords : flow pattern of phreatic line, seepage discharge, dam.

Abstrak: Permasalahan rembesan adalah kasus yang sering timbul pada tubuh bendungan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati pola aliran garis freatis yang terjadi pada tubuh bendungan serta menghitung debit rembesan yang terjadi. Penelitian ini menggunakan model tubuh bendungan yang terbuat dari tanah lempung kekuning-kuningan dengan tingkat kepadatan 70% dan memiliki nilai permeabilitas $4,9 \times 10^{-7} \text{ cm}/\text{det}$ dengan memvariasikan sudut kemiringan lereng bagian hulu. Besar sudut kemiringan lereng bagian hulu yang divariasikan sebesar $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, dan $52,74^\circ$, sedangkan bagian hilir $50,33^\circ$. Penelitian uji model menggunakan bejana kaca setebal 10 mm dengan panjang 180 cm, lebar 44 cm, dan tinggi 68 cm dengan skala 1 : 25 dari peneliti terdahulu. Penelitian ini memiliki 3 variasi tinggi air tampungan, yaitu 35 cm, 45 cm, dan 55 cm. Pada penelitian ini, pada kondisi sudut kemiringan lereng bagian hulu $41,15^\circ$; $46,29^\circ$, dan $52,74^\circ$, hanya pada kondisi air tampungan 55 cm yang dapat memenuhi metode Cassagrande. Besar debit yang dihasilkan menurut perhitungan dan penelitian masing-masing untuk sudut $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, dan $52,74^\circ$ adalah $6,01 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ dan $7,96 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$, $5,37 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ dan $7,21 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$, $5,81 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$ dan $7,65 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{det}$. Perbedaan debit dari hasil perhitungan dan penelitian menunjukkan kalibrasi pemodelan belum sempurna. Hasil yang didapat dari penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi tubuh bendungan dengan memvariasikan sudut kemiringan lereng bagian hulu juga mempengaruhi besar kecilnya rembesan yang terjadi.

Kata kunci : Pola aliran garis freatis, debit rembesan, bendungan

Air merupakan salah satu kebutuhan yang sangat penting bagi makhluk hidup. Selain mendapatkan manfaat, pada kondisi tertentu

air juga dapat menjadi daya rusak bagi manusia dan lingkungan. Mengingat betapa pentingnya air bagi kehidupan makhluk hidup,

maka diperlukan suatu tempat penyimpanan air. Bendungan merupakan salah satu tempat penyimpanan air di musim hujan dan menyalsurkannya pada saat diperlukan.

Permasalahan yang sering timbul pada bendungan adalah rembesan. Besarnya rembesan air sangat tergantung pada bentuk dan jenis bahan timbunan. Apabila rembesan air yang terjadi terlalu besar, akan mengakibatkan terganggunya pengoperasian bendungan, sehingga rawan terjadi longsor atau runtuh. Keadaan ini diakibatkan turunnya massa tanah yang timbul akibat tekanan yang besar. Air tumpungan waduk akan bergerak sesuai dengan energi yang lebih rendah, melalui material yang poros atau suatu rekahan, baik melalui tubuh bendungan, pondasi, dan suatu tumpuan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk mengamati pola aliran garis freatis yang terjadi pada tubuh bendungan dan menghitung debit rembesan yang terjadi.

KAJIAN PUSTAKA

Beberapa referensi yang digunakan pada penelitian ini adalah yang berkaitan dengan rembesan air, bangunan air, stabilitas, waduk, ilmu tanah, dan ilmu lainnya yang berhubungan dengan tubuh bendungan.

Klasifikasi Tanah

Pemilihan tanah dalam kelompok atau subkelompok yang menunjukkan sifat yang sama akan sangat membantu dalam penelitian. Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks tipe pengujian yang sangat sederhana

untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (Das, B. M., 1995) dan analisis mineralogi serta plastisitas tanah (Chen, F. W, and Baladi, G.Y., 1985).

Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air atau minyak mengalir lewat rongga pori. Tanah termasuk bahan yang *permeable* sehingga air dapat mengalir melalui pori-pori tanah. Uji permeabilitas dengan tinggi energi turun (*Falling-head*) lebih cocok untuk tanah berbutir halus (Hardiyatmo, H. C., 2006).

Kepadatan Tanah

Pada pembuatan tubuh bendungan tipe urugan homogen, tanah dipadatkan untuk meningkatkan berat volumenya (Sosrodarsono, S. dan Takada, K.,1976). Pemadatan berfungsi untuk meningkatkan kekuatan tanah, mengurangi besarnya rembesan air yang terjadi, mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diinginkan, dan meningkatkan kemapapan lereng timbunan. Pada perencanaan, kepadatan tanah lapangan diambil sebesar 90-95% kepadatan tanah laboratorium. Berat volume kering maksimum didapat dari hasil percobaan dengan uji Proctor atau di modifikasi di laboratorium (Bowles, J.E., 1993).

Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng waduk rata-rata (baik lereng hulu dan lereng hilir) adalah perbandingan antara panjang garis vertikal yang melalui tumit masing-masing lereng. Kemiringan lereng urugan harus ditentukan sedemikian rupa agar stabil terhadap longsoran. Kestabilan urugan harus diperhitungkan terhadap frekuensi naik turunnya muka air, rembesan, dan tahan terhadap gempa (Sharma. H. D., 1991).

Garis Freatis

Garis freatis atau garis depresi didefinisikan sebagai garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis freatis memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan. Garis ini dihubungkan oleh dua titik kritis, yaitu titik pertemuan antara muka air banjir (MAB) dengan sisi hulu bendungan, dan titik setinggi garis miring yang disebut titik *a* yang terletak di bagian hilir bendungan. Cassagrande (1937) memberikan rumusan untuk mendapatkan nilai *a* sebagai berikut :

$$a = \sqrt{d^2 + H^2} - \sqrt{d^2 - H^2 \cot^2 \theta} \quad (1)$$

Debit Rembesan pada Tubuh Bendungan

Darcy mengusulkan hubungan antara kecepatan dan gradien hidrolik sebagai berikut :

$$v = ki \quad (2)$$

Debit rembesan (*q*) dinyatakan dalam persamaan :

$$q = kiA \quad (3)$$

dengan:

v = kecepatan aliran (m/detik);
k = koefisien permeability tanah (m/detik);
i = gradien hidrolik;
q = debit rembesan (m³/detik)
A = luas penampang (m²)

Beberapa cara diberikan untuk menentukan besarnya rembesan yang melewati bendungan yang dibangun dari tanah homogen, antara lain :

1. Metode Dupuit

Dupuit menganggap bahwa gradien hidrolik (*i*) adalah sama dengan kemiringan permukaan freatis dan besarnya konstan dengan kedalamannya, yaitu $i = dz/dx$. maka

$$q = \frac{k}{2d} (H_1^2 - H_2^2) \quad (4)$$

dengan :

*H*₁ dan *H*₂ = elevasi permukaan freatis (m)

2. Metode Schaffernak

Dari anggapan Dupuit, gradien hidrolik $i = dz/dx = \tan \theta$.

Maka :

$$q = kz \frac{dz}{dx} = k a \sin \theta \quad (5)$$

dengan:

θ = sudut kemiringan permukaan freatis.

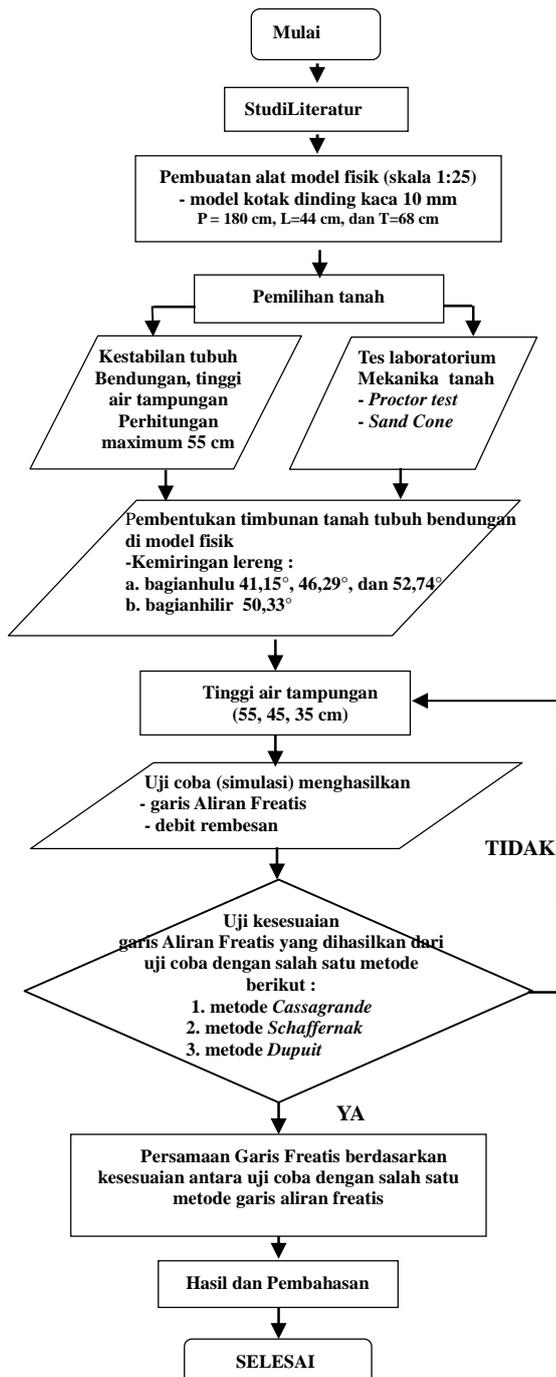
3. Metode Cassagrande

Casagrande mengusulkan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang didasarkan pada pengujian model. Besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$q = ka \sin^2 \theta \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan pekerjaan persiapan, uji tanah pada laboratorium Mekanika Tanah, pembuatan model, dan *running* pemodelan di Laboratorium Hidroteknik. Selengkapnya metode penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Metode Penelitian

Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi pengadaan bahan dan peralatan.

• Pengadaan bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Air; berfungsi sebagai media untuk air tampungan pada bagian hulu. Air diisi ke dalam bejana kaca dengan kedalaman masing-masing 35 cm, 45 cm, dan 55 cm.
2. Tanah; tanah yang digunakan sebagai bahan dasar pembentukan tubuh bendungan yaitu tanah lempung kekuning-kuningan dari Lambaro Angan, Aceh Besar. Tanah ini lolos ayakan nomor 4 menurut ASTM dan diuji kepadatannya pada laboratorium dan lapangan yaitu sebesar 70% dengan nilai permeabilitas $4,9 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{det}$.
3. Karet; digunakan sebagai alas yang letaknya di bawah kotak kaca.
4. Aspal; digunakan sebagai alas yang letaknya di bawah kotak kaca.
5. Pasir; digunakan sebagai alas yang letaknya di bawah kotak kaca.
6. Model bendungan; berbentuk trapesium dengan menggunakan skala 1:25 terhadap penelitian terdahulu (Kusnan, 2008).

• Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

1. Bejana kaca; digunakan empat bidang kaca setebal 10 mm tembus pandang dengan ukuran panjang 180 cm, lebar 44 cm, dan tinggi 68 cm. bejana kaca ini digunakan untuk tempat peletakan model tubuh bendungan.

2. Kerangka besi; digunakan pada sudut kaca berupa kerangka besi siku (L40.40.4).
3. Balok kayu; digunakan berukuran 6/12 cm dan tinggi balok adalah 40 cm yang diletakkan di bawah kotak kaca.
4. Selang plastik; digunakan sebanyak 9 selang pengamatan dengan diameter 5 mm dan panjang 1 m. Selang berfungsi untuk pengamatan garisf reatis yang terjadi pada-tubuh bendungan.
5. Tempat penampungan; digunakan ember sebagai wadah menampung debit rembesan yang terjadi.
6. Gelasukur; digunakan berukuran 1000 ml untuk menghitung debit rembesan yang terjadi selama penelitian.
7. Alat tulis dan kamera

Uji Laboratorium

Pada penelitian ini dilakukan uji laboratorium yaitu uji pemadatan tanah dan uji permeabilitas.

- **Uji pemadatan tanah**

Uji pemadatan tanah dilakukan pada Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala dan lapangan. Di laboratorium, pemadatan tanah dilakukan dengan uji *Proctor*, sedangkan pada lapangan dilakukan dengan uji *Sand Cone*. Pada uji *Proctor*, tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder bervolume $1/30 \text{ ft}^3$ ($943,3 \text{ cm}^3$) dan berdiameter 4 in ($101,6 \text{ mm}$). Selama percobaan di laboratorium, cetakan itu dikelam pada sebuah plat dasar dan di atasnya diberi perpanjangan yang juga berbentuk silinder. Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan

dengan menggunakan penumbuk khusus. Pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam 3 lapisan (dengan tebal tiap lapisan kira-kira 1,0 in) dan jumlah tumbukan adalah 25 x tiap lapisan. Berat penumbuk adalah 5,5 lb (massa=2,5 kg) dan tinggi jatuh sebesar 12 in ($304,8 \text{ mm}$).

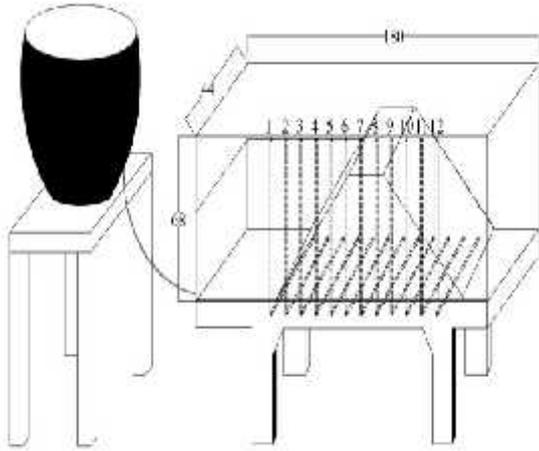
Pada uji pemadatan dengan menggunakan *Sand Cone Test*, tanah digali dengan skrap hingga berbentuk persegi panjang dan plat besi yang disediakan diletakkan di dalam lubang, lubang harus dibuat serata mungkin. Setelah plat besi dimasukkan kedalam lubang, dibuat lubang yang berbentuk lingkaran dan tidak terlalu dalam, lalu diukur kedalamannya. Tanah dari pembuatan lubang tersebut diambil dan dimasukkan ke dalam kantong plastik dan kemudian ditimbang beratnya. Setelah itu diletakkan kerucut *Sand Cone Test* dalam keadaan terbalik dan kemudian kran kerucut diputar hingga pasir yang berada dalam sand cone jatuh ke bawah dan memenuhi kerucut. Pada saat pasir sudah memenuhi kerucut tersebut, kran kerucut ditutup dan pasir dimasukkan kembali ke dalam *Sand Cone Test* dengan menggunakan container.

- **Uji permeabilitas dengan tinggi energi turun (*Falling-head*)**

Pada uji permeabilitas *falling head*, tanah benda uji dimasukkan di dalam tabung. Pipa pengukur didirikan di atas benda uji. Air dituangkan lewat pipa pengukur dan dibiarkan mengalir lewat benda uji. Ketinggian air pada awal pengujian (h_1) pada saat waktu $t_1 = 0$ dicatat. Pada waktu tertentu (t_2) setelah pengujian berlangsung, muka air menjadi h_2 (Hardiyatmo, H. C., 2001).

Pembuatan Model

Sketsa model tubuh bendungan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sketsa Model Penelitian

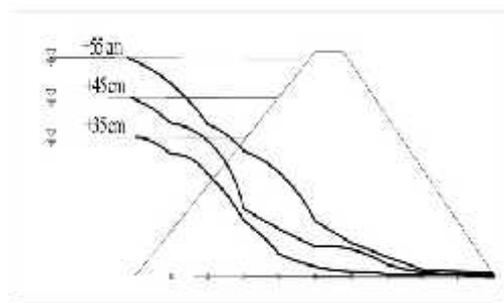
Pembuatan model adalah sebagai berikut:

1. Pengadaan bahan penelitian dan peralatan.
2. Selang-selang sebagai pizometri dipasang pada dinding arah memanjang kaca, dengan jarak setiap selang 10 cm.
3. Bahan-bahan berupa pasir, karet, dan aspal dihamparkan pada dasar bejana alat model fisik.
4. Tanah ditimbun per lapisan dengan tinggi 10 cm dan ditumbuk dengan menggunakan balok seberat 3 kg sebanyak 15 kali di tempat yang sama. Tanah ditimbun hingga membentuk trapesium dengan lebar 44 cm, panjang 134,4 cm, dan tinggi 68 cm. Pembentukan tubuh bendung tersebut berdasarkan variasi sudut kemiringan lereng bagian hulu.
5. Air diisi pada bagian hulu tubuh bendungan sebagai daerah genangan dengan tinggi muka air 35 cm, 45 cm, dan maksimum 55 cm.
6. Pengamatan garis aliran pada tubuh bendungan diamati pada selang yang dipasang pada kaca. Kenaikan air pada selang dihitung per 30 menit selama 9 jam sehingga diperoleh debit air rembesan.
7. Percobaan dilakukan sebanyak 9 kali dengan variasi sudut kemiringan lereng bagian hulu dan tinggi air tampungan.
8. Debit yang ditampung di dalam gelas ukur dibandingkan dengan debit yang didapat dari hasil perhitungan sebagai kalibrasi model.

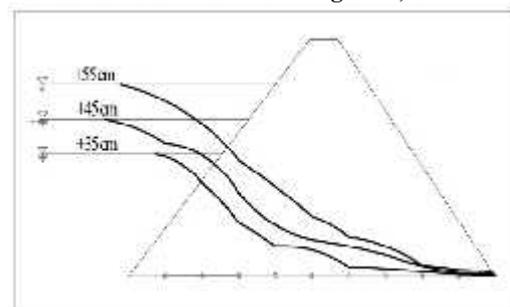
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Aliran Garis Freatis

Hasil yang diperoleh berupa sketsa gambar terjadinya rembesan dalam tubuh bendungan. Pola aliran dengan sudut kemiringan $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, dan $52,74^\circ$ diamati dengan 3 variasi tinggi air tampungan, yaitu 35 cm, 45 cm, dan 55 cm. Dari ketiga variasi tersebut, hanya tinggi air maksimum 55 cm yang dapat memenuhi salah satu teori garis aliran rembesan, yaitu Metode Cassagrande karena garis aliran yang terbentuk memenuhi persyaratan dari metode tersebut. Garis aliran mulai melengkung pada selang pengamatan pertama dan memotong tubuh bendungan bagian hilir. Pada tinggi tampungan 35 cm dan 45 cm tidak ada metode yang memenuhi, hal ini disebabkan oleh garis aliran yang tidak sampai pada tubuh bendung bagian hilir. Keterbatasan lamanya waktu pengamatan menjadi salah satu penyebab hal tersebut. Selengkapnya pola aliran dari masing-masing sudut dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5.



Gambar 3. Pola Aliran Kemiringan 41,15°



Gambar 5. Pola Aliran Kemiringan 52,74°

Debit Rembesan

Debit rembesan observasi dan analitis diberikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Debit Rembesan Observasi dan Analitis (cm³/detik)

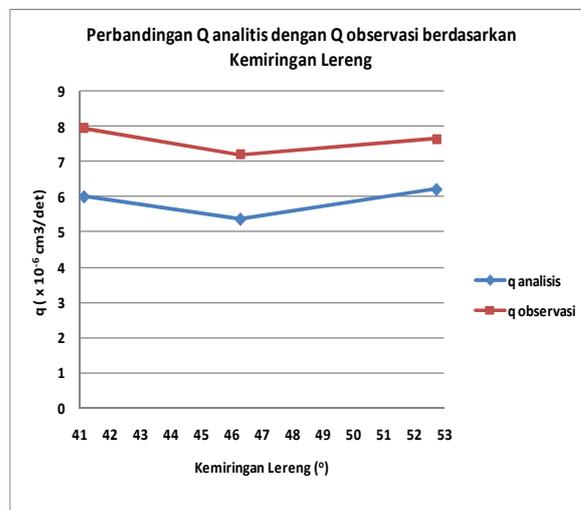
	h (cm)	(°)		
		41,15°	46,29°	52,74°
Analitis	35	-	-	-
Observasi	-	-	-	-
Analitis	45	-	-	-
Observasi	-	-	-	-
Analitis	55	6,01x10 ⁻⁶	5,37x10 ⁻⁶	5,81x10 ⁻⁶
Observasi	-	7,96x10 ⁻⁶	7,21x10 ⁻⁶	7,65x10 ⁻⁶

Dari hasil perhitungan, rembesan yang paling besar terjadi pada sudut kemiringan 41,15° dengan tinggi air tumpangan 55 cm, sedangkan rembesan terkecil terjadi pada sudut kemiringan 46,29°. Pada sudut 52,74°, rembesan yang terjadi juga lebih besar dari sudut 46,29°. Besarnya rembesan yang terjadi dipengaruhi oleh kemiringan dan tinggi dari tubuh bendungan itu sendiri. Pada sudut 41,15°, untuk memperoleh debit rembesan yang sekecil-kecilnya, diperlukan panjang dan tinggi tubuh bendungan yang relatif besar,

sehingga memerlukan biaya yang cukup besar pada konstruksinya sehingga kurang ekonomis. Pada sudut tersebut, rembesan yang terjadi relatif besar karena tubuh bendungan mengalami tekanan yang besar. Sesuai dengan referensi yang telah ada, sudut kemiringan bagian hulu sebesar 46,29° merupakan sudut yang paling ekonomis dalam penelitian ini, karena menghasilkan debit rembesan paling kecil. Perencanaan besar kecilnya sudut kemiringan lereng sangat mempengaruhi stabilitas tubuh bendungan itu sendiri. Semakin besar rembesan yang terjadi, maka kestabilan tubuh bendungan semakin kecil, demikian juga sebaliknya.

Kalibrasi Pemodelan

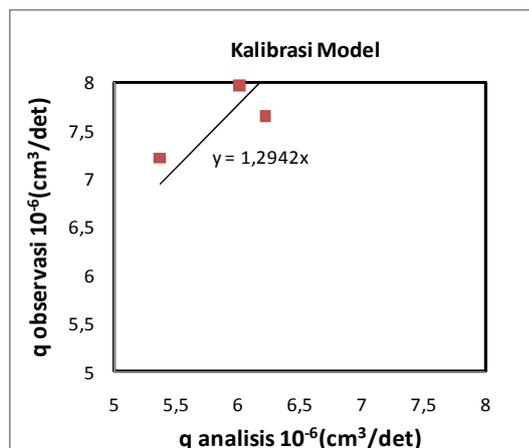
Hubungan antara debit analitis dengan debit observasi dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Grafik Hubungan antara Debit Analitis dengan Debit Observasi

Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa perbandingan hasil debit analitis dengan debit observasi memiliki trend yang sama walaupun hasil yang didapatkan berbeda. Perbedaan tersebut dimungkinkan karena peralatan yang digunakan dalam penelitian ini masih me-

memiliki kekurangan. Grafik kalibrasi pemodelan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Kalibrasi

Pada grafik tersebut terlihat bahwa debit observasi dari penelitian lebih besar dari debit analitis. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu kepadatan tanah yang belum memenuhi standar, ketepatan alat, dan lamanya waktu pengamatan. Dengan demikian, kalibrasi pemodelan ini belum dapat dikatakan sempurna.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat ditarik kesimpulan bahwa kemiringan lereng bagian hulu mempengaruhi besar kecilnya debit rembesan yang terjadi. Namun semakin kecil sudut kemiringan lereng bagian hulu, tidak menjamin semakin kecilnya rembesan yang terjadi. Besar debit yang dihasilkan menurut perhitungan dan penelitian masing-masing untuk sudut $41,15^\circ$, $46,29^\circ$, dan $52,74^\circ$ adalah $6,01 \times 10^{-6}$ cm³/det dan $7,96 \times 10^{-6}$ cm³/det, $5,37 \times 10^{-6}$ cm³/det dan $7,21 \times 10^{-6}$ cm³/det, $5,81 \times 10^{-6}$ cm³/det dan $7,65 \times 10^{-6}$ cm³/det. Debit dari sudut $41,15^\circ$ lebih besar dari sudut $46,29^\circ$ dan $52,74^\circ$. Hal ini disebabkan oleh pengaruh tinggi tubuh

bendung itu sendiri. Besar rembesan yang terjadi pada sudut $52,74^\circ$ juga lebih besar dari sudut $46,29^\circ$. Landai curamnya kemiringan tubuh bendungan, sangat berpengaruh pada kestabilan konstruksi bangunan tubuh.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Bowles, J.E., 1993, *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)* terjemahan J.K. Hainim, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Chen, F. W, and Baladi, G.Y., 1985, *Soil Plasticity: Theory and Implementation (Developments in Geotechnical Engineering)*, Elsevier Science Publishers, USA.
- Das, B. M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip – Prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2006, *Mekanika Tanah 1*, Edisi Ke-4, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2001, *Prinsip-prinsip Mekanika Tanah dan Soal Penyelesaian*, Edisi Ke-1, Penerbit Beta Offset, Jakarta.
- Kusnan., 2008, “Kalibrasi Alat model Fisik Formulasi GAF (Garis Aliran Filtrasi) di Timbunan Tubuh Bendungan Homogen”, jurnal agritek, Vol. 16 No. 9, halaman 1709-1721.
- Sharma. H. D., 1991, *Embankment Dams*, Oxford & IBH, New Delhi.
- Sosrodarsono, S. dan Takada, K., 1976, *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta.