

# PENGARUH FLUKTUASI MUKA AIR WADUK TERHADAP DEBIT REMBESAN MENGGUNAKAN MODEL SEEP/W (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali)

Rahman Hakim Ardiansyah<sup>1)</sup>, Sobriyah<sup>2)</sup>, Agus Hari Wahyudi<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Transfer S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

<sup>2),3)</sup>Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Jln. Ir. Sutami No. 36A Surakarta 57126. Telp. (0271) 647069 Psw 120,121. Email : ancah\_lanang@yahoo.co.id

## Abstract

*The pattern of seepage in the dam depends on water pressure on the upstream. Based on-Darcy equation, a path occurring in the ground is affected by hydraulic gradient, affected by different elevation. The research was conducted in Benel Dam located in Bali. The objective of research was to find out the effect of dam's water surface fluctuation on seepage flow rate. To find out the stream pattern occurring in dam body, a Geostudio's SEEP/W software model was used with steady-state analysis type. The method used to determine the influence of reservoir water level fluctuation to seepage discharge is approach by calculating the duration of seepage. The result of model showed that the path pattern was consistent with Cassagrande principle method. The calculations show the influence of reservoir water level fluctuation are very small to seepage discharge and the duration of seepage at an average of 2.5 years. However, seepage that occurs after the initial first filling of reservoir is only about 5 months. Differences duration of seepage from the calculation and studies indicated that the models were not perfect.*

**Keywords:** seepage flow rate, dam's water surface, duration of seepage

## Abstrak

Pola rembesan dalam tubuh bendungan tergantung dari adanya tekanan air di sebelah hulu. Sesuai dengan persamaan Darcy, suatu aliran yang terjadi dalam tanah dipengaruhi oleh gradien hidrolis, yang mana dipengaruhi oleh beda tinggi atau elevasi muka air waduk. Studi kasus penelitian dilakukan pada Bendungan Benel yang berlokasi di Bali. Tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari fluktuasi muka air waduk terhadap debit rembesan. Untuk mengetahui pola aliran yang terjadi di dalam tubuh bendungan dilakukan dengan model perangkat lunak SEEP/W dari Geostudio dengan tipe analisis *steady-state*. Metode yang digunakan untuk mengetahui pengaruh fluktuasi muka air waduk terhadap debit rembesan dilakukan pendekatan dengan menghitung lama durasi rembesan yang terjadi. Hasil dari model menunjukkan pola aliran sesuai dengan prinsip metode *Cassagrande*. Hasil perhitungan menunjukkan pengaruh fluktuasi muka air waduk sangat kecil terhadap debit rembesan dengan durasi rembesan mencapai rata-rata 2,5 tahun. Akan tetapi, rembesan yang terjadi setelah pengisian awal waduk hanya sekitar 5 bulan. Perbedaan durasi rembesan dari hasil perhitungan dan penelitian menunjukkan pemodelan belum sempurna.

**Kata Kunci:** debit rembesan, muka air waduk, durasi rembesan

## PENDAHULUAN

Setiap bendungan pasti mengalami rembesan dari waduknya, namun besarnya pengaruh rembesan terhadap bendungan sangat tergantung pada material timbunan tubuh bendungan. Rembesan berlebihan mungkin dapat berpengaruh terhadap keamanan bendungannya. Menurut (M. Jayadi, 2009), pola rembesan di dalam tubuh bendungan tergantung dari adanya tekanan air di sebelah hulu berupa ketinggian elevasi muka air waduk. Data pembacaan elevasi muka air waduk menunjukkan perubahan elevasi muka air waduk terjadi secara fluktuatif setiap harinya, sehingga perlu adanya pemodelan untuk secara cepat yang dapat menunjukkan pola rembesan di dalam tubuh bendungan dari pengaruh ketinggian muka air waduk.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruhnya fluktuasi muka air waduk terhadap debit rembesan dengan meninjau pola rembesannya di dalam tubuh bendungan. Pola rembesan yang terjadi di dalam tubuh bendungan, dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak SEEP/W tipe *steady-state*. Data permeabilitas yang digunakan merupakan data saat pelaksanaan konstruksi yang diasumsikan masih sama dengan kondisi sekarang. Kondisi tubuh bendungan diasumsikan tidak dipengaruhi oleh rembesan dari hujan. Rembesan yang terjadi dianggap hanya melewati tubuh bendungan.

## LANDASAN TEORI

### Persamaan Darcy

Henri Darcy (Anonim, 2010), seorang ahli hidrolika dari Perancis mengadakan suatu percobaan aliran air yang melalui suatu lapisan tanah. Darcy berpendapat bahwa besarnya kecepatan aliran yang mengalir masuk ataupun

keluar dari lapisan tanah sebanding dengan gradien hidrauliknya. Hukum Darcy dinyatakan dalam persamaan, sebagai berikut:

$$Q = k.i.A \dots\dots\dots [1]$$

$$V = k.i \dots\dots\dots [2]$$

$$i = \frac{\Delta h}{L} \dots\dots\dots [3]$$

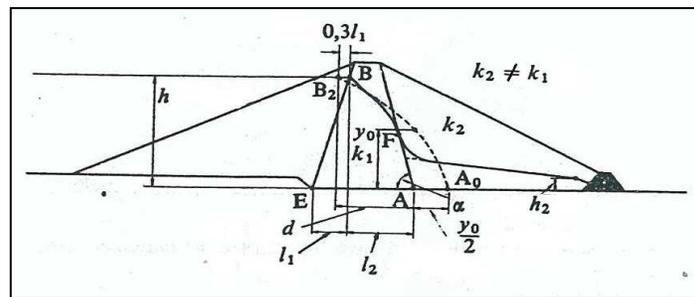
dengan :

- Q = volume aliran air persatuan waktu yang masuk ataupun keluar (m<sup>3</sup>/s),
- k = konstanta yang dikenal sebagai koefisien permeabilitas (cm/s),
- V = kecepatan rembesan (cm/s),
- i = gradien hidrolis,
- A = luas penampang tanah yang dilewati (m<sup>2</sup>),
- Δh = perbedaan tinggi muka air pada kedua ujung contoh tanah (m),
- L = panjang lapisan tanah yang dirembesi (m).

Semua jenis tanah dapat dilalui air melalui pori – pori tanah. Menurut Wesley (Azmeri dkk, 2013) permeabilitas didefinisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan aliran rembesan dari cairan yang berupa air mengalir lewat rongga pori. Semakin tinggi tingkat kepadatan tanah, maka semakin kecil nilai koefisien permeabilitas dan debit rembesan yang dihasilkan. Garis freatik sebagai garis batas kejenuhan pada struktur tubuh bendungan. Garis freatik akan memisahkan daerah yang mengalami rembesan dengan daerah yang tidak mengalami rembesan.

**Penggambaran Garis freatik**

(Suyono, 1989) Penggambaran garis freatik pada zona kedap air suatu bendungan dapat diperoleh dengan metode *Casagrande* berbentuk parabola. *Casagrande* memberikan metode perhitungan rembesan yang melewati tubuh bendungan dan didasarkan pada pengujian model. Rembesan yang terjadi pada bendungan zonal akan melewati beberapa zona timbunan. Pada lapisan tanah yang koefisien permeabilitasnya berbeda, garis aliran yang terjadi akan berbelok atau menyimpang pada garis batas perbedaan permeabilitas. Bentuk dari garis freatik pada bendungan zonal sebagai berikut:



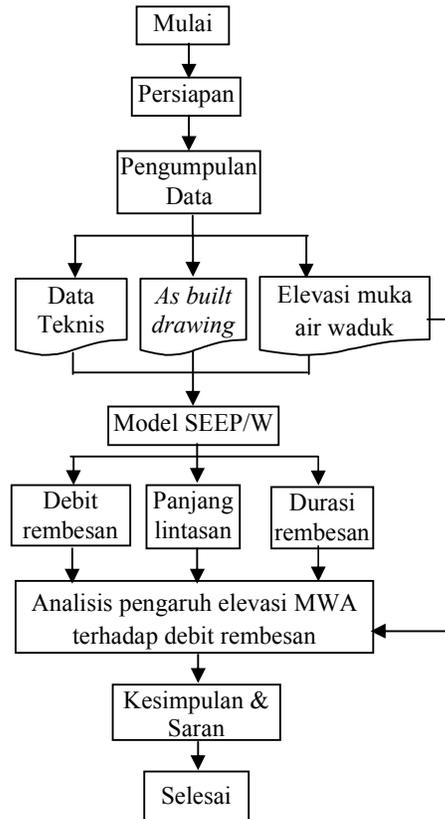
Gambar 1. Skema formasi garis freatik pada bendungan zonal

**Model SEEP/W**

GeoStudio adalah rangkaian produk perangkat lunak dari Geo-Slope International Ltd. yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja bendungan atau tanggul dengan berbagai tingkat kompleksitas. SEEP/W adalah salah satu elemen dari produk GeoStudio dengan *basic* CAD terbatas untuk menganalisis rembesan air dan masalah disipasi tekanan air pori berlebih dalam bahan berpori seperti tanah dan batuan. Formulasi yang komprehensif memungkinkan dapat mempertimbangkan analisis mulai dari yang sederhana, masalah kondisi jenuh *steady-state* sampai dengan masalah kondisi jenuh atau tidak jenuh yang tergantung pada waktu. SEEP/W dapat diterapkan pada analisis dan desain untuk geoteknik, sipil, hidrogeologi, dan kegiatan rekayasa pertambangan. (Anonim, 2007)

## METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif, yaitu mengembangkan dan menggunakan model-model matematis, teori-teori dan hipotesis sesuai dengan Hukum *Darcy* yang dikaitkan dengan fenomena alam berupa rembesan melalui material tanah. Penelitian ini mengambil studi kasus pada Bendungan Benel karena memiliki data frekuensi pembacaan debit rembesan yang cukup rutin. Bendungan Benel berlokasi di Kabupaten Jembrana Provinsi Bali yang pelaksanaannya selesai pada tahun 2009. Bendungan Benel merupakan bendungan urugan batu dengan inti tegak. Material tubuh bendungan terdiri dari 4 zona, yaitu: inti, filter, transisi, dan batu. Langkah – langkah dalam penelitian ini sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Data sebagai penunjang penelitian ini diperoleh dari Balai Bendungan dan Balai Wilayah Sungai Bali – Penida. Data yang dapat diperoleh meliputi:

- Data pengukuran elevasi muka air waduk dengan durasi mulai Oktober 2009 – Juni 2012.
- Laporan pengawasan (*completion report*) pembangunan Bendungan Benel tahun 2009.
- Gambar purna bangun (*as built drawing*) Bendungan Benel.

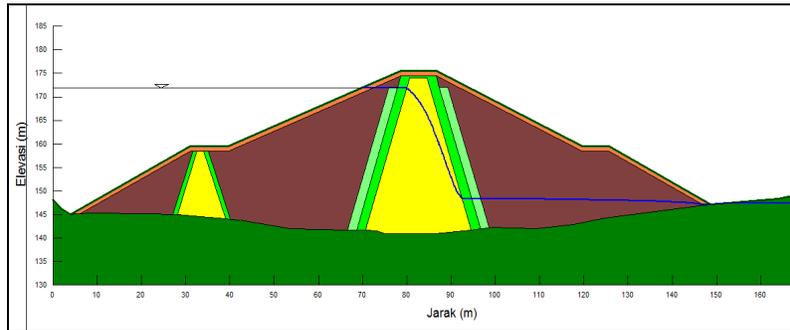
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola aliran rembesan dalam tubuh bendungan dimodelkan dengan perangkat lunak SEEP/W sesuai dengan data teknis dari *as built drawing*. Tipe analisis rembesan yang digunakan dalam perangkat lunak SEEP/W adalah *steady-state*. Nilai koefisien permeabilitas tiap zona material tubuh bendungan yang diambil dari laporan pelaksanaan konstruksi sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai koefisien permeabilitas

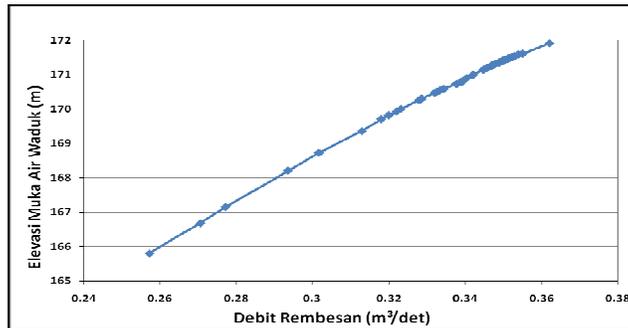
No	Jenis Material	k (cm/det)
1.	Zona 1 (Inti)	$4,2672 \times 10^{-7}$
2.	Zona 2 (Filter)	$3,28 \times 10^{-3}$
3.	Zona 3 (Transisi)	$2,714 \times 10^{-2}$
4.	Zona 4 (Batu)	$1 \times 10^{-2}$

Pada elevasi muka air waduk +171,9 m dan nilai permeabilitas setiap zona sesuai dengan Tabel 1, maka didapatkan pola aliran rembesan di dalam tubuh bendungan seperti terlihat pada Gambar 3. Pola aliran rembesan yang terbentuk dalam tubuh bendungan (zona inti) berupa garis lengkung sesuai dengan metode *Cassagrande*. Pada material timbunan yang dipadatkan, tingkat permeabilitas aliran filtrasi yang memotong pelapisan pemadatan akan lebih kecil dari permeabilitas aliran yang sejajar dengan pelapisan pemadatan tersebut. Pemodelan menunjukkan bentuk garis freatik oleh aliran air diakibatkan adanya tekanan air di hulu. Apabila gaya yang menahan lebih besar maka aliran air tidak akan memotong tanggul, sebaliknya jika gaya yang menahan lebih kecil maka aliran air akan cepat sampai ke hilir tanggul (M. Jayadi, 2009).



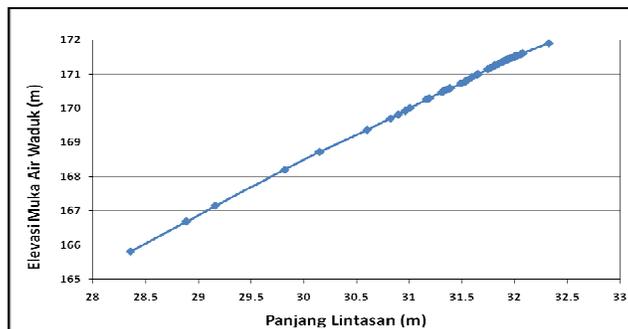
Gambar 3. Pola aliran di dalam tubuh bendungan

Hasil model rembesan dengan perangkat lunak SEEP/W dengan tipe analisis *steady-state* menunjukkan semakin tinggi elevasi muka air waduk, semakin besar debit rembesan seperti terlihat pada Gambar 4. Sesuai dengan hukum Darcy bahwa suatu aliran yang terjadi dalam tanah dipengaruhi oleh gradien hidrolis, yang mana dipengaruhi oleh beda tinggi atau elevasi muka air waduk.



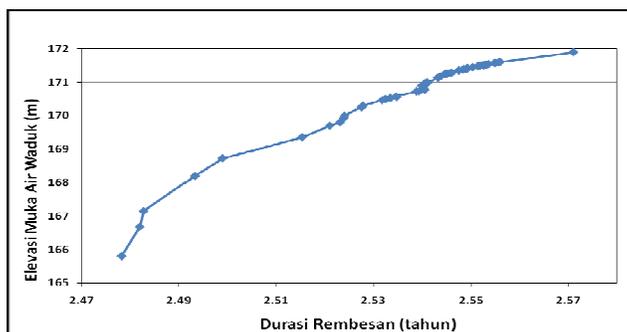
Gambar 4. Grafik hubungan elevasi maw dengan debit rembesan

Pada Gambar 5 menunjukkan nilai panjang lintasan rembesan yang didapat sesuai dengan kondisi muka air waduk. Semakin tinggi elevasi muka air waduk, maka lintasan rembesannya semakin panjang. Lintasan yang diambil merupakan garis freatik yang merupakan batas dari kondisi tanah jenuh dan yang kering. Untuk analisis diambil garis freatik yang merupakan lintasan terpanjang dari setiap kondisi elevasi muka air waduk.



Gambar 5. Grafik hubungan elevasi MAW dengan panjang lintasan rembesan

Sesuai dengan persamaan [2] dan [3], pada kondisi elevasi muka air waduk +171,9 m didapatkan kecepatan rembesan sebesar  $3,987 \times 10^{-7}$  cm/det. Untuk mengetahui durasi rembesan digunakan dengan persamaan  $t=s/v$ , maka durasi rembesan didapatkan 2,571 tahun. Hasil perhitungan durasi rembesan pada kondisi elevasi muka air waduk yang lainnya disajikan pada Gambar 6. Pada gambar tersebut menunjukkan semakin tinggi elevasi muka air waduk, maka semakin lama juga durasi rembesan yang dihasilkan. Rembesan yang berupa parabola mengakibatkan lintasan semakin panjang seiring dengan kenaikan kondisi elevasi muka air waduk. Semakin panjang lintasan yang terjadi, maka semakin lama durasi rembesan.



Gambar 6. Grafik hubungan elevasi maw dengan durasi rembesan

Hasil dari perhitungan diperoleh durasi rembesan dari hulu ke v-notch rata-rata selama 2,5 tahun, sedangkan dari data pembacaan elevasi muka air waduk menunjukkan perubahan elevasi muka air waduk Bendungan Benel terjadi dalam waktu harian. Hal ini menunjukkan rembesan dari waduk pada suatu kondisi ketinggian air waduk akan sampai pada v-notch setelah kurun waktu 2,5 tahun. Akan tetapi, jika ditinjau dari data pembacaan debit rembesan di v-notch menunjukkan bahwa nilai debit rembesan mulai tercatat bulan Maret 2010 dari pengisian awal waduk pada bulan Oktober 2009. Jadi, sebelum mencapai waktu selama 2,5 tahun sudah terdapat pencatatan debit rembesan di v-notch.

## SIMPULAN

1. Hasil model rembesan dengan SEEP/W tipe analisis *steady-state* menunjukkan hubungan antara elevasi muka air waduk dengan panjang lintasan, durasi dan debit rembesan. Semakin tinggi elevasi muka air waduk, maka nilai panjang lintasan, durasi, dan debit rembesan yang didapatkan semakin besar pula.
2. Hasil perhitungan menunjukkan fluktuasi muka air waduk Bendungan Benel memberikan pengaruh yang sangat kecil terhadap debit rembesan. Akan tetapi, durasi rembesan hasil perhitungan menunjukkan lebih lama dari pada awal debit rembesan yang tercatat.

## REKOMENDASI

Untuk kesempurnaan penelitian selanjutnya, agar digunakan perangkat lunak SEEP/W tipe analisis *transient*, sehingga dapat diketahui berbagai debit rembesan sesuai dengan fluktuasi muka air waduk.

Pada kenyataannya debit rembesan dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah faktor hujan. Jika batasan masalah diasumsikan tubuh bendungan tidak dipengaruhi rembesan hujan, maka data debit rembesan yang digunakan sebaiknya pada musim kemarau.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2007, "Modul Pelatihan Geostudio 2007: Tutorial Geostudio 2007", PT. Caturbina Guna Persada, Jakarta.
- Anonim, 2010, "Modul Diklat Teknis Perencanaan Bendungan Urugan Tingkat Dasar: Analisis Rembesan", Balai Bendungan, Jakarta.
- Azmeri, dkk, 2013, "Observasi Garis Freatis pada Model Bendungan Berdasarkan Kepadatan Tanah Melalui Model Fisik". Jurnal Teknik Sipil Vol.20, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

M. Jayadi, 2009, “Analisis Debit Rembesan pada Model Tanggul Tanah. 2009”, Institut Pertanian Bogor, Bogor.  
Suyono, S.&Takeda, K, 1989, “Bendungan Type Urugan”, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.