

# ANALISIS REMBESAN DI BAWAH TUBUH BENDUNGAN URUGAN

I Gusti Ngurah Putu Dharmayasa<sup>1)</sup>

1) Jurusan Teknik Sipil, Universitas Pendidikan Nasional, Denpasar, Bali.

[ngurah.dharmayasa@gmail.com](mailto:ngurah.dharmayasa@gmail.com)

## ABSTRACT

*Indonesian government has built many dams in some areas and dams that have been built mostly earth dam. Earth dam becomes an option to be built because it was easier to obtain material to build the dam. Building process can be faster. Benel Dam in Melaya sub-district, Jembrana district, Bali province which had been evaluated was an earth dam that had been built in 2010. In order to provide benefits in the long time, the control of the seepage in the dam was needed so that safety can always be monitored. Measurements that were performed to determine the safety of the dam was measurement of the seepage discharge that occurs in the foundation. Therefore it is important to calculate the seepage discharge during the rainy season because in rainy season the water level in the upstream reaches the maximum position so it will cause maximum seepage in the foundation of the dam. The analysis was performed with SEEP/W and flow-net, with no cut off condition and with cut off. The result of the analysis that has been done, the seepage discharge in the dam's foundation without cut-off for rainy season condition calculated with SEEP/W equal to  $3.162 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$  and with cut-off obtained  $2.077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$ . While seepage discharge in the foundation of the dam without cut-off for rainy season conditions calculated with flow-net obtained  $3.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$  and with a cut-off obtained  $1.85 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{sec}$  discharge. The results of this calculation show that the installation of cut off can reduce the amount of seepage. The seepage that occurs in the foundation of the dam was smaller than the allowed seepage that was  $4.9206 \text{ m}^3/\text{sec}$ , so that the seepage discharge through the dam's foundation was safe for the dam.*

Key words: earth dam, flow-net, seepage discharge

## ABSTRAK

*Pemerintah Indonesia pada saat ini telah banyak membangun bendungan di berbagai daerah dan bendungan yang dibangun sebagian besar adalah tipe bendungan urugan. Bendungan urugan menjadi pilihan untuk dibangun karena lebih mudah untuk memperoleh material untuk bahan urugan sehingga proses pembangunannya dapat lebih cepat. Bendungan Benel di Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Bali merupakan bendungan urugan yang telah selesai dibangun pada tahun 2010. Agar bendungan dapat memberikan manfaat dalam jangka panjang, maka pengawasan terhadap bendungan sangat diperlukan sehingga keamanannya selalu dapat di pantau. Salah satu ukuran dalam menentukan keamanan bendungan adalah dengan mengukur debit rembesan yang terjadi di bawah tubuh bendungan. Oleh karena itu maka sangat penting untuk menghitung debit rembesan ketika musim hujan karena pada musim hujan ini muka air di hulu bendungan berada pada posisi maksimum sehingga akan diperoleh nilai rembesan maksimum di bawah tubuh bendungan. Analisis menggunakan program SEEP/W dan flownet dengan kondisi tanpa cut off dan dengan cut off. Hasil analisis yang telah dilakukan adalah debit rembesan di bawah tubuh bendungan tanpa cut-off untuk kondisi musim hujan dihitung dengan SEEP/W sebesar  $3.162 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$  dan dengan cut-off diperoleh debit  $2.077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$ . Sedangkan debit rembesan di bawah tubuh bendungan tanpa cut-off untuk kondisi musim hujan dihitung dengan flownet diperoleh  $3.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$  dan dengan cut-off diperoleh debit  $1.85 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$ . Hasil perhitungan ini memperlihatkan bahwa pemasangan cut off mampu mengurangi besarnya rembesan. Rembesan pada pondasi bendungan lebih kecil dari debit rembesan yang diijinkan yaitu  $4.9206 \text{ m}^3/\text{detik}$ , sehingga debit rembesan yang melalui tanah dasar bendungan aman bagi bendungan.*

**Kata kunci:** bendungan urugan, debit rembesan, flownet

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemerintah Indonesia pada saat ini telah banyak membangun bendungan di berbagai daerah dan tipe bendungan yang dibangun umumnya adalah bendungan tipe urugan. Bendungan urugan menjadi pilihan untuk dibangun karena lebih mudah untuk memperoleh material untuk bahan urugan sehingga proses pembangunannya dapat lebih cepat. Bendungan Benel di Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Bali merupakan bendungan urugan yang telah selesai dibangun pada tahun 2010.

Agar bendungan dapat memberikan manfaat dalam jangka panjang, maka pengawasan terhadap bendungan sangat diperlukan sehingga keamanannya selalu dapat di pantau. Salah satu ukuran dalam menentukan keamanan bendungan adalah dengan mengukur debit rembesan yang terjadi di bawah tubuh bendungan.

Perubahan ketinggian air di hulu bendungan disebabkan perubahan musim sehingga mempengaruhi besarnya debit rembesan. Pada musim hujan ketinggian air di hulu akan mencapai nilai maksimum sehingga diperkirakan akan terjadi rembesan maksimum. Kondisi ini terjadi karena

terjadi tekanan air maksimum pada dinding bendungan.

## 2 KAJIAN PUSTAKA

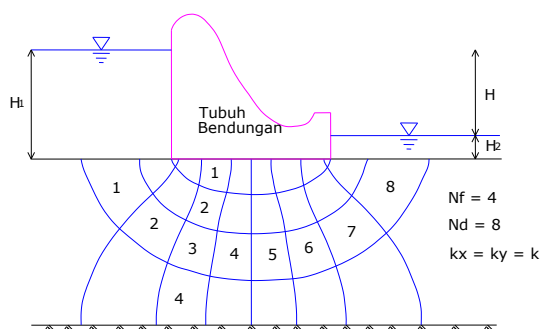
### 2.1 Bendungan Urugan

Bendungan urugan dapat digolongkan dalam tiga tipe (RSNI M-03-2002):

1. Bendungan homogen adalah bendungan urugan yang lebih dari 80% dibangun dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya hampir sama serta sifatnya kedap air.
2. Bendungan zona yaitu bendungan yang terbentuk dari timbunan yang memiliki gradasi batuan berbeda-beda. Bendungan tipe ini biasanya terdiri dari dua bagian utama yaitu bagian lolos air dan bagian kedap air untuk menahan rembesan air.
3. Bendungan urugan dengan membran atau sekat adalah apabila bendungan urugan pada lereng bendungan di bagian hulu (*upstream*) dibuat dari lembaran baja tahan karat, aspal, beton bertulang, *geomembran*, susunan beton blok dan lain-lainnya sebagai lapisan kedap air.

## 2.2 Analisis Rembesan di Bawah Tubuh Bendungan Urugan dengan Tanah Dasar Homogen dan Isotropis

Metode jaring-jaring aliran atau *flownet* dapat digunakan untuk menghitung besar rembesan yang terjadi di bawah tubuh bendungan. Gambar *flownet* untuk aliran di bawah bendungan ditampilkan dalam Gambar 1.



**Gambar 1. Flownet di bawah tubuh bendungan**  
(Sumber: Dharmayasa dkk, 2014)

Ketentuan dalam menggambar *flownet* adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama adalah menggambar garis rembesan pada tubuh bendungan.
2. Garis – garis batas yaitu:  
Garis aliran pertama yaitu garis rembesan (nomor 1 – 4) pada Gambar 1. Garis ekuipotensial (nomor 1-8) pada Gambar 1.
3. Antara garis aliran pertama dan terakhir dibagi menjadi beberapa garis aliran dengan bagian yang sama serta

memotong tegak lurus pada garis ekuipotensial.

4. Antara garis ekuipotensial tertinggi dan garis ekuipotensial terendah dibagi menjadi beberapa garis ekuipotensial dengan bagian yang sama serta memotong tegak lurus pada garis aliran.
5. Selisih kehilangan energi potensial adalah  $H$  yang merupakan perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir bendungan.
6.  $\Delta h$  adalah kehilangan energi ekuipotensial
7.  $N_d$  adalah jumlah kehilangan energi potensial (*potensial drop*)
8.  $N_f$  adalah jumlah saluran aliran (*flow channel*)

Maka besarnya debit adalah berdasarkan (Freeze & Cherry, 1979) dan U.S. Army Corps of Engineers. (1993:

$$\Delta q = k \left( \frac{H}{N_d} \right) \dots \dots \dots (1)$$

$$q = \Delta q N_f \dots \dots \dots (2)$$

$$= k H \left( \frac{N_f}{N_d} \right) \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

$k$  : koefisien permeabilitas tanah

H : selisih kehilangan energi potensial (perbedaan muka air di hulu dan di hilir)

Nf : jumlah saluran aliran (*flow channel*)

Nd : jumlah bidang kehilangan energi potensial (*potential drop*)

Rembesan pada bendungan dapat dinyatakan aman apabila lebih kecil dari 1% limpasan tahunan rata-rata (Astuti dkk, 2012).

### 2.3 GeoStudio 2007 Versi Mahasiswa (*Student License*)

GeoStudio 2007 versi mahasiswa adalah sebuah paket program untuk pemodelan geoteknik yang diberikan secara gratis untuk mahasiswa serta para dosen atau pengajar di perguruan tinggi. Dalam perangkat lunak ini termasuk program SEEP/W yang digunakan untuk menghitung rembesan di dalam tanah. Untuk edisi mahasiswa tidak memberikan kemampuan yang lengkap sebagaimana versi profesional tetapi fitur-fitur yang tersedia sudah cukup untuk belajar

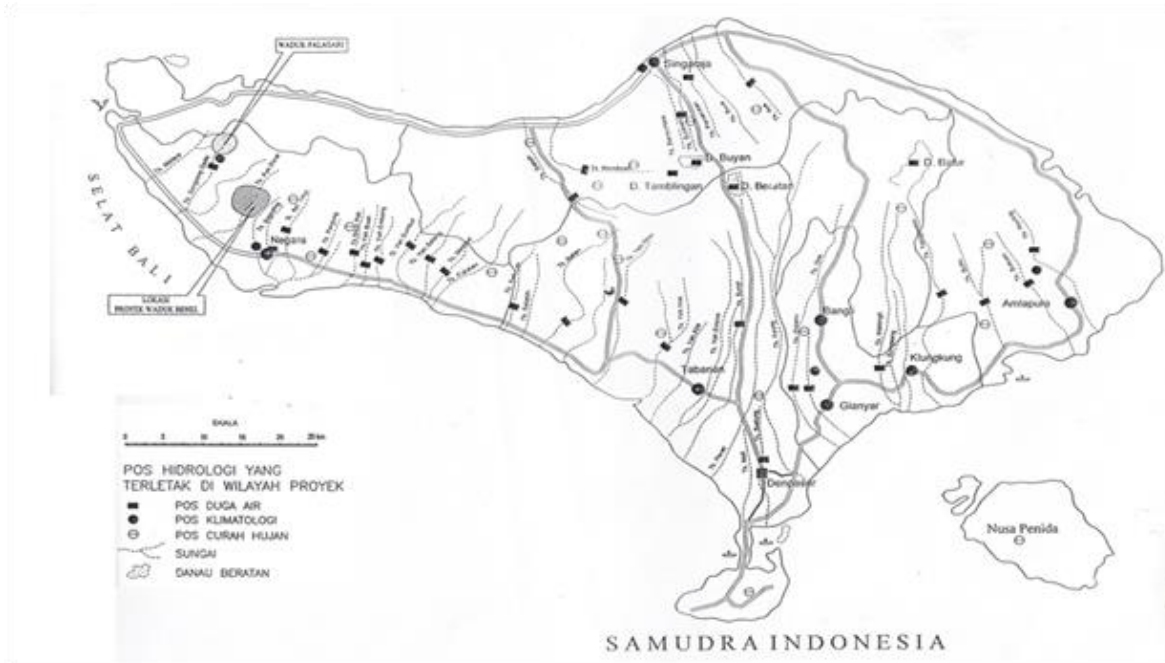
analis geoteknik dan memberikan hasil yang dapat diterima kebenarannya (GEO-SLOPE International Ltd., 2009).

### 3. METODE PENELITIAN

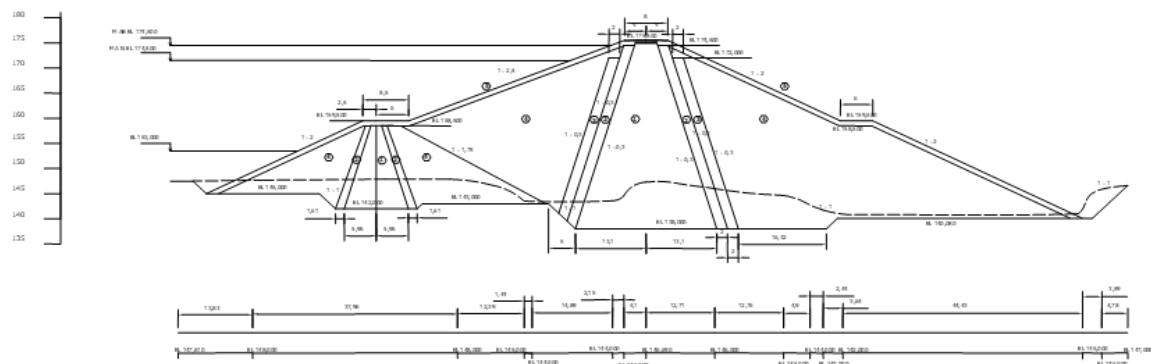
Pelaksanaan analisis ini dimulai dengan identifikasi masalah yang selajutnya diikuti dengan pengumpulan data-data yang diperlukan untuk menunjang analisis yaitu data desain bendungan, hasil pengujian rembesan dan ketinggian air pada hulu bendungan.

Dalam penelitian ini data bendungan yang dipakai adalah bendungan Benel yang berada di Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Propinsi Bali dengan lokasi seperti diperlihatkan pada Gambar 2 dan salah satu potongan melintang dari Bendungan Benel diperlihatkan Gambar 3.

Untuk analisis rembesan di bawah tubuh bendungan digunakan program (*software*) SEEP/W dan hasilnya dibandingkan dengan metode *flownet*.



Gambar 2. Peta lokasi bendungan Benel



Gambar 3. Potongan melintang bendungan Benel pada as 1a

#### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data-data yang diperlukan dan telah dikumpulkan selanjutnya dirangkum untuk melakukan perhitungan rembesan di bawah tubuh bendungan yang dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman data-data untuk menghitung rembesan dari bendungan Benel

Zona	Koefisien Rembesan (K) cm/dt	
	Maximum	Minimum
Zona I (Inti Bendungan)	1.24E-02	6.52E-05
Zona II (Filter Halus)	8.08E+00	1.94E-01
Zona III (Filter Kasar)	4.37E+01	5.99E+00
Zona IV (Rocks)	4.37E+01	5.99E+00
Tanah dasar	5.00E-02	1.00E-03

Berdasarkan data bendungan yang dikumpulkan debit banjir untuk umur rencana 30 tahun adalah  $492.06 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Syarat keamanan bendungan urugan terhadap rembesan adalah debit rembesan yang terjadi ( $q_{\text{ijin}}$ ) harus kurang dari 1% terhadap debit banjir rata-rata.

$$\begin{aligned} q_{\text{ijin}} &= 0.01 \times q_{\text{banjir rata-rata}} \\ &= 0.01 \times 492.06 \text{ m}^3/\text{detik} \\ &= 4.9206 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

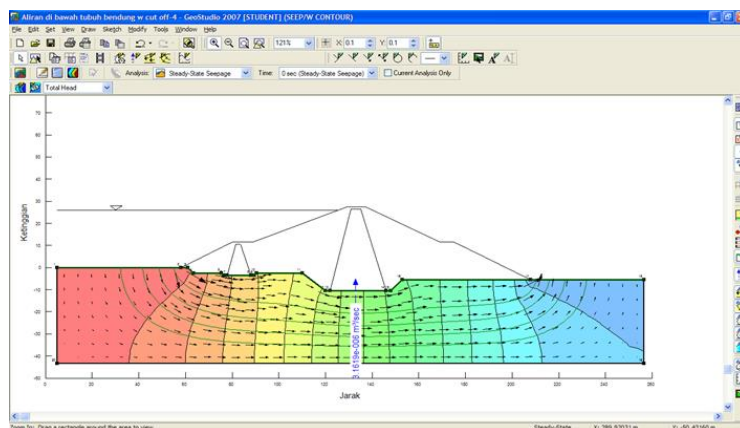
#### 4.1 Analisis Rembesan di Pondasi Bendungan (Dibawah Tubuh Bendungan) dengan Software SEEP/W

Rembesan di bawah tubuh bendungan dihitung pada saat muka air di hulu bendungan maksimum (muka air banjir) dan kondisi tanah pada pondasi dianggap homogen. Berdasarkan data tanah dasar bendungan mempunyai koefisien rembesan  $1 \times 10^{-6} \text{ cm}/\text{detik} < K < 5 \times 10^{-5} \text{ cm}/\text{detik}$ , dengan lapisan kedap air pada elevasi 105 m.

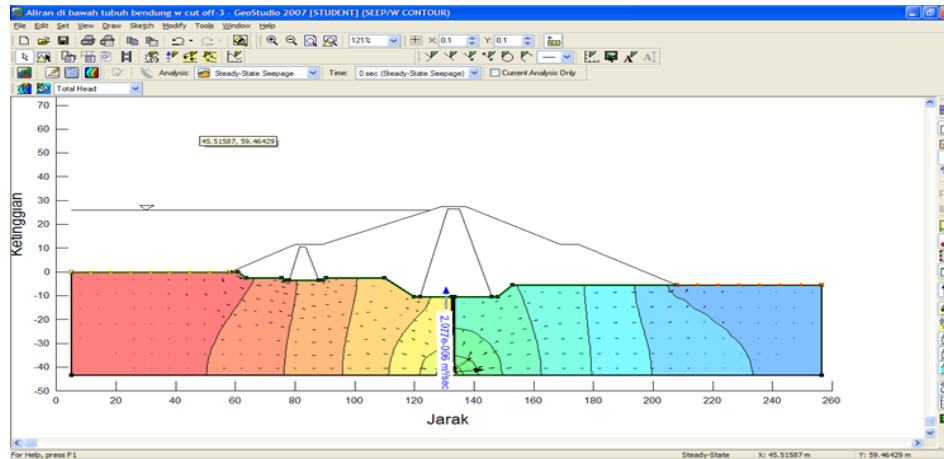
Berdasarkan hasil perhitungan rembesan tanpa *cut-off* dengan software SEEP/W diperoleh debit rembesan di bawah tubuh bendungan =  $3.162 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$  seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Debit ini masih aman karena lebih kecil dari debit yang dipersyaratkan  $q_{\text{ijin}} = 4.9206 \text{ m}^3/\text{detik}$ .

Untuk mengurangi debit rembesan dilakukan dengan memasang *cut-off* di bawah tubuh bendungan. Model dan hasil proses perhitungan rembesan air di bawah tubuh bendungan dengan *cut-off* diperlihatkan pada Gambar 5.

Berdasarkan hasil perhitungan rembesan dengan *cut-off* dengan program SEEP/W maka diperoleh nilai rembesan di bawah tubuh bendungan adalah  $2.077 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{detik}$ , hasil ini lebih kecil daripada tanpa *cut-off* dan aman terhadap rembesan yang terjadi karena lebih kecil daripada debit rembesan yang dipersyaratkan  $q_{\text{ijin}} = 4.9206 \text{ m}^3/\text{detik}$ .



Gambar 4. Hasil perhitungan debit rembesan dengan SEEP/W di bawah tubuh bendungan tanpa *cut-off*



**Gambar 5. Hasil perhitungan debit rembesan dengan SEEP/W di bawah tubuh bendungan dengan cut-off**

#### 4.2. Analisis Rembesan di Bawah Tubuh Bendungan dengan Metode *Flownet*

Data yang digunakan untuk menghitung rembesan di bawah tubuh bendungan dengan metode *flow-net* sama dengan data yang digunakan pada program SEEP/W. Nilai koefisien permeabilitas tanah dasar bendungan  $1 \times 10^{-6}$  cm/detik  $< k < 5 \times 10^{-5}$  cm/detik, dengan lapisan kedap air pada elevasi 105 m. Untuk perhitungan rembesan di bawah tubuh bendungan tanpa *cut-off* diperlihatkan pada Gambar 6.

Koefisien rembesan ( $k$ ) adalah  $5 \times 10^{-5}$  cm/dt atau  $5 \times 10^{-7}$  m/dt. Jumlah saluran aliran ( $N_f$ ) adalah 4. Total kehilangan energi ( $H$ ) adalah 31.5 m. Jumlah bidang kehilangan energi potensial ( $N_d$ ) = 20. Maka besarnya debit rembesan:

$$q = k \times \frac{N_f}{N_d} \times H_1$$

$$= (5 \times 10^{-7}) \times \frac{4}{20} \times 31.5$$

$$= 3.15 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt} <$$

$$q_{ijin} = 1\% \times q \text{ banjir rata-rata}$$

$$= 0.01 \times 492.06 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$= 4.9206 \text{ m}^3/\text{dt}$$

Sedangkan untuk perhitungan rembesan pada pondasi bendungan dengan *cut off* (Gambar 7). Koefisien rembesan ( $k$ ) adalah  $5 \times 10^{-5}$  cm/dt atau  $5 \times 10^{-7}$  m/dt. Jumlah saluran aliran ( $N_f$ ) adalah 4. Total kehilangan energi ( $H$ ) adalah 31.5 m. Jumlah bidang kehilangan energi potensial ( $N_d$ ) = 24. Maka besarnya debit rembesan:

$$q = k \times \frac{N_f}{N_d} \times H_1$$

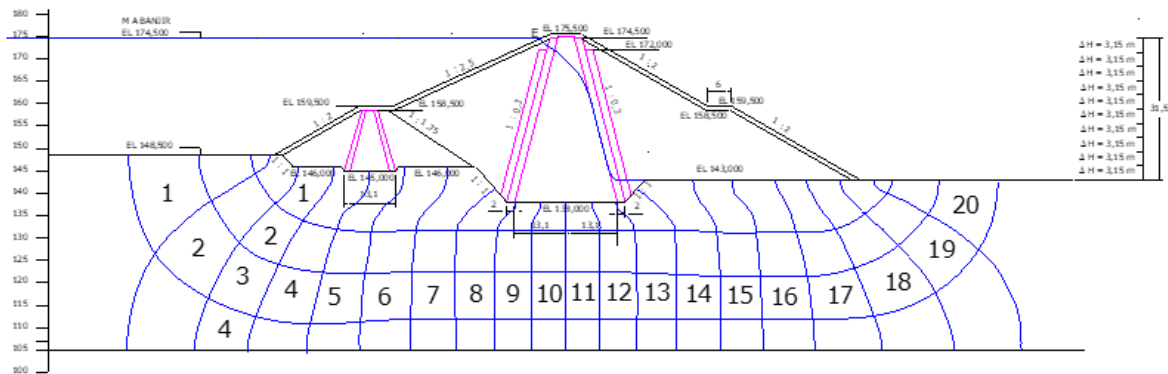
$$= (5 \times 10^{-7}) \times \frac{4}{34} \times 31.5$$

$$= 1.85 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt} <$$

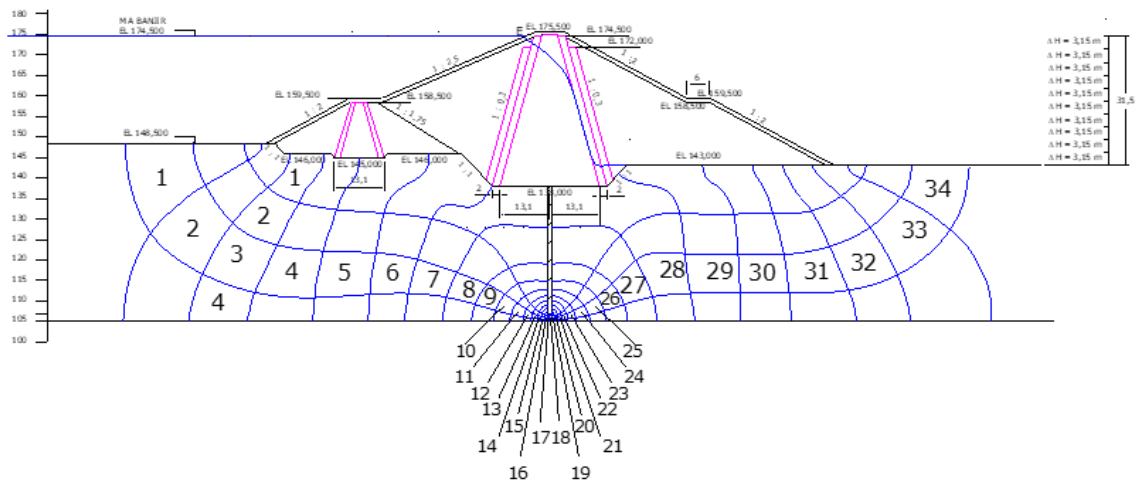
$$q_{ijin} = 1\% \times q \text{ banjir rata-rata}$$

$$= 0.01 \times 492.06 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$= 4.9206 \text{ m}^3/\text{dt}$$



**Gambar 6. Hasil perhitungan debit rembesan dengan metode *flownet* di bawah tubuh bendungan tanpa *cut-off***



**Gambar 7. Hasil perhitungan debit rembesan dengan metode *flownet* di bawah tubuh bendungan dengan *cut-off***

#### 4 SIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Debit rembesan di bawah tubuh bendungan tanpa *cut-off* untuk kondisi musim hujan dihitung dengan SEEP/W sebesar  $3.162 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/dt dan dengan *cut-off* diperoleh debit  $2.077 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/dt. Hasil perhitungan ini lebih kecil dari

debit rembesan yang diijinkan yaitu 4.9206 m<sup>3</sup>/detik, sehingga debit rembesan yang melalui tanah dasar bendungan aman bagi bendungan.

2. Debit rembesan di bawah tubuh bendungan tanpa *cut-off* untuk kondisi musim hujan dihitung dengan *flownet* sebesar  $3.15 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/dt dan dengan *cut-off* diperoleh debit

$1.85 \times 10^{-6}$  m<sup>3</sup>/detik. Hasil perhitungan ini lebih kecil dari debit rembesan yang diijinkan yaitu 4.9206 m<sup>3</sup>/dt, sehingga debit rembesan yang melalui tanah dasar bendungan aman bagi bendungan.

3. Hasil analisis dengan program SEEP/W dan *flow-net* memperoleh hasil yang tidak terlalu jauh berbeda.
4. Berdasarkan analisis maka dapat disimpulkan bahwa pemasangan *cut-off* dapat mengurangi rembesan di bawah tubuh bendungan.
5. Rembesan yang terjadi di bawah tubuh Bendungan Benel masih cukup aman karena lebih rendah dari rembesan yang diijinkan.

*Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan.*

Dharmayasa, I. G., Redana, I. W., & Suwarsa Putra, T. G. (2014). Analisis Kemanan Lereng Bendungan Utama Pada Bendungan Benel di Kabupaten Jembrana. *Jurnal Spektran*, 2 (2).

Freeze, R. A., & Cherry, J. A. (1979). *Groundwater*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

GEO-SLOPE International Ltd. (2009). *Seepage Modeling with SEEP/W 2007 (An Engineering Methodology)* (4th ed.).

U.S. Army Corps of Engineers. (1993). *Engineer Manual 1110-2-1901: Engineering and Design SEEPAGE ANALYSIS AND CONTROL FOR DAMS*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, Y., Masrevaniah, A., & Marsudi, S. (2012). Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati terhadap Bahaya Piping untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 3(1).
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2002). RSNI M-03-2002: *Metode*