



# ANALISIS REMBESAN DAN STABILITAS BENDUNGAN SARADAN

**Muhammad Saidillah<sup>1</sup>, Hanindya Kusuma Artati<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [15511158@students.uui.ac.id](mailto:15511158@students.uui.ac.id)

<sup>2</sup>Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email: [045110407@uui.ac.id](mailto:045110407@uui.ac.id)

## ABSTRAK

Bendungan Saradan merupakan salah satu bendungan yang terletak di Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Bendungan Saradan dibangun antara tahun 1942 oleh Pemerintah Hindia Belanda, oleh karena itu untuk mengetahui keamanan bendungan perlu ditinjau rembesan dan kestabilan badan bendungan saat ini. Penelitian ini menggunakan metode Casagrande untuk menganalisis rembesan yang terdapat pada tubuh bendungan dan metode Bishop untuk menganalisis stabilitas tubuh bendungan dengan menambahkan faktor koefisien beban gempa OBE (Operating Basis Earthquake) dan MDE (Maximum Design Earthquake). Dalam penelitian ini digunakan Program GeoStudio 2012 untuk menganalisis rembesan dan stabilitas badan bendungan pada kondisi muka air banjir, muka air normal, muka air minimum, dan penarikan cepat. Hasil analisis menggunakan Geostudio 2012 menunjukkan bahwa faktor keamanan untuk kestabilan badan bendungan Saradan ada pada kondisi dengan muka air banjir tanpa gempa  $6,005 > 1,5$  (Aman), dengan angka gempa OBE  $3,452 > 1,5$  (Aman), dengan angka gempa MDE  $1,457 > 1$  (Aman), kemudian pada kondisi muka air normal tanpa gempa  $5,037 > 1,5$  (Aman), dengan gempa OBE  $3,124 > 1,2$  (Aman), dengan angka gempa MDE  $1,407 > 1$  (Aman), maka di kondisi muka air minimum tanpa gempa  $2,541 > 1,5$  (Aman), dengan angka gempa OBE  $2,031 > 1,2$  (Aman), dengan angka gempa MDE  $1,245 > 1$  (Aman), kemudian pada kondisi drawdown tanpa gempa  $1,899 > 1,3$  (Aman), dengan gempa OBE  $1,541 > 1,1$  (Aman), dengan angka gempa MDE  $0,973 > 1$  (Aman). Analisis rembesan pada bendungan Saradan setelah dilakukan perhitungan manual dan hasil analisis program GeoStudio 2012 menunjukkan dalam setiap kondisi aman.

Kata Kunci : Stabilitas, Rembesan, Geostudio 2012.

## ABSTRACT

Saradan Dam is dams located in the Saradan sub-district, Madiun Regency, East Java Province. The Saradan Dam was built between 1942 by the Dutch East Indies Government, therefore to determine the safety of the dam it is necessary to review the seepage and stability of the current dam body. This study uses the Casagrande method to analyze seepage that occurs in the dam body and the Bishop method to analyze the stability of the dam body by adding the earthquake load coefficient factor OBE (Operating Basis Earthquake) and MDE (Maximum Design Earthquake). This research uses the help of the GeoStudio 2012 program for analysis of seepage and stability of the dam body under conditions of flood water level, normal water level, minimum water level, and rapid drawdown. The results of the analysis using Geostudio 2012 show that the safety factor for the stability of the Saradan dam body is in flood water level conditions without an earthquake  $6,005 > 1,5$  (Safe), OBE earthquake  $3,452 > 1,5$  (Safe), MDE earthquake  $1,457 > 1$  (Safe), then under normal water level conditions without an earthquake  $5,037 > 1,5$  (Safe), OBE earthquake  $3,124 > 1,2$  (Safe), MDE earthquake  $1,407 > 1$  (Safe), then at minimum water level conditions without an earthquake  $2,541 > 1,5$  (Safe), OBE earthquake  $2,031 > 1,2$  (Safe), MDE earthquake



1,245 > 1 (Safe), then at rapid drawdown conditions without an earthquake 1,899 > 1,3 (Safe), OBE earthquake 1,541 > 1,1 (Safe), MDE earthquake 0,973 > 1 (Safe).

Keyword : Stability, Seepage, Geostudio 2012.

## 1 PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan suatu negara yang mempunyai potensi sumber daya air yang besar untuk dapat dikembangkan dan dimanfaatkan. Pendayagunaan sumber daya air di Indonesia salah satunya ialah dibangunnya bangunan air berupa bendungan dan waduk.

Bendungan merupakan salah satu bangunan air yang dibangun dengan tujuan untuk menahan, menangkap laju air kemudian menyimpannya sehingga menjadi waduk atau danau. Bendungan pada umumnya berupa urugan batu, urugan tanah, beton, dan pasangan batu. Waduk atau *reservoir* merupakan bangunan tampungan berupa danau buatan atau danau alam dan pembendungan sungai dengan tujuan menampung air sungai untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia dan di beberapa daerah bendungan juga difungsikan untuk mengalirkan air dari waduk ke sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Air, akan tetapi pembangunan sebuah bendungan juga dapat berpotensi menimbulkan bahaya besar, maka dari itu pada saat dilakukannya pembangunan sebuah bendungan perlu diperhatikan dengan baik dari segi keamanan struktur bendungan dan kondisi geologinya.

Bendungan Saradan memerlukan adanya penelitian mengenai stabilitas dan rembesan terhadap Bendungan Saradan untuk mengetahui kelayakan dan keamanan pada bendungan Saradan yang ditinjau dari kestabilan bendungan dan rembesan yang ada. Hasil analisis akan memperlihatkan angka faktor keamanan dan rembesan yang terdapat pada bendungan Saradan, dengan data yang ada dilapangan dan hasil dari laboratorium. Maka dari itu, penelitian ini dilakukan sebagai penelitian tugas akhir penulis, dengan mengangkat judul : “Analisis Rembesan dan Stabilitas pada Bendungan Saradan”. Rumusan masalah :

1. Bagaimana nilai tingkat klasifikasi resiko bendungan ?
2. Bagaimana rembesan dan stabilitas pada bangunan bendungan Saradan pada kondisi muka air banjir berdasarkan analisis menggunakan program GeoStudio 2012 ?
3. Bagaimana rembesan dan stabilitas pada bangunan bendungan Saradan pada kondisi muka air normal berdasarkan analisis menggunakan program GeoStudio 2012 ?
4. Bagaimana rembesan dan stabilitas pada bangunan bendungan Saradan pada kondisi muka air minimum berdasarkan analisis menggunakan program GeoStudio 2012 ?
5. Bagaimana stabilitas pada bangunan bendungan Saradan pada kondisi surut cepat berdasarkan analisis menggunakan program GeoStudio 2012 ?

## 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Menganalisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D

Nanda dan Hamdhan (2016), melakukan penelitian mengenai analisa rembesan dan stabilitas bendungan Bajulmati yang berlokasi di perbatasan antar Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Situbondo, Provinsi Jawa Timur. Analisis



rembesan dan stabilitas pada penelitian ini akan di analisis, digunakan metode elemen hingga dengan model 2D dan 3D, analisis rembesan dan stabilitas yang menggunakan program PLAXIS AE akan menghasilkan faktor keamanan, debit rembesan dan arah bidang runtuh. Hasil faktor keamanan akan di bandingkan dengan syarat minimum faktor keamanan dari RSNI-M-03-2002, sehingga dapat diketahui bendungan aman atau tidak. Hasil penelitian ini pada kondisi pembebanan setelah konstruksi, muka air minimum, muka air maksimum dan surut dengan cepat pada model 2D sebelum diberi beban gempa diperoleh nilai safety factor berturut-turut sebesar 2,088; 1,876; 1,965; 1,750 dan 1,823; 1,688; 1,461; 1,452 untuk hasil analisis setelah diberikan beban gempa. Arah bidang runtuh pada model 2D sebelum terjadi gempa berturut-turut bergerak ke arah hilir, hulu, hilir dan hulu. Sedangkan, untuk kondisi setelah terjadi gempa arah bidang runtuh keseluruhannya bergerak ke arah hilir. Hasil faktor keamanan pada model 3D berurut-turut adalah sebesar 2,321; 1,951; 2,103; 1,890 dan arah bidang longsor ke arah hulu, hulu, hilir dan hulu. Nilai faktor keamanan diperoleh dari model 2D dan 3D keseluruhannya memenuhi syarat keamanan berdasarkan RSNI-M-03-2002 dengan nilai syarat  $SF$  sebesar 1,1 s/d 1,5 (Badan Standarisasi Nasional, 2002).

## **2.2. Melakukan Evaluasi Pada Keamanan Tubuh Bendungan**

Dipa (2017), penelitian ini dilakukan pada bendungan Saradan karena masa aktif bendungan yang sudah tua, maka perlu dilakukan evaluasi pada keamanan tubuh bendungan tersebut. Evaluasi keamanan tubuh Bendungan Saradan ini dilakukan pada 2 stasiun yaitu stasiun 03+50 dan stasiun 06+00 melingkupi analisa rembesan Casagrande dan analisa pseudostatik dengan koefisien gempa termodifikasi sebagai beban gempa. Hasil dari dua analisa ini akan dipergunakan untuk membuat analisa stabilitas bendungan dengan bantuan aplikasi Plaxis 8.2 model 2D dengan tanpa gempa dan imbas beban gempa berlandaskan kondisi muka air waduk kosong, normal, penuh dan surut cepat. Bendungan Saradan dari dua stasiun bendungan yang di tinjau, kondisi tanpa gempa, hasil Plaxis menunjukkan pada stasiun 03+50 dinyatakan tidak aman ( $SF_{izin} = 1,5$ ) dengan  $SF = 1,344$  untuk kondisi muka air waduk kosong,  $SF = 1,318$  imbas muka air waduk surut secara tiba-tiba dari muka air penuh,  $SF = 1,323$  berdasarkan kondisi muka air waduk surut secara tiba-tiba dari muka air normal. Akibat gempa periode ( $T$ ) = 100 th dinyatakan tidak aman ( $SF_{izin} = 1,2$ ) dengan  $SF = 1,029$  untuk kondisi muka air waduk kosong,  $SF = 0,967$  imbas muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air penuh,  $SF = 0,994$  berdasarkan kondisi muka air waduk surut tiba-tiba dari muka air normal. Imbas gempa periode ( $T$ ) = 3000 th dinyatakan tidak aman ( $SF_{izin} = 1,0$ ) dengan  $SF = 0,786$  akibat muka air waduk surut secara tiba-tiba dari muka air penuh,  $SF = 0,809$  berlandaskan kondisi muka air waduk surut secara tiba-tiba dari muka air normal.

## **2.3. Stabilitas Lereng Bendungan**

Stabilitas bendung yaitu perhitungan kontruksi untuk menentukan ukuran bendung agar mampu menahan muatan dan gaya yang bekerja pada dalam segala kondisi, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar serta keadaan yang lainnya. Syarat-syarat stabilitas kontruksi



seperti lereng disebelah hulu dan hilir bendung tidak mudah longsor, diharuskan aman terhadap geseran, diharuskan aman terhadap rembesan, dan diharuskan aman terhadap penurunan bendung.

#### 2.4. Rembesan pada Bendungan

Rembesan merupakan air waduk yang mencari jalan melewati material yang porous atau suatu retakan baik yang ada di dalam tubuh maupun fondasinya, karena pada dasarnya air yang disimpan dalam suatu waduk akan mengarah untuk mencari jalan keluar (mengalir) ke bagian hilirnya. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung rembesan sebagai berikut.

$$q = ka \sin^2 \alpha \quad (1)$$

$$a = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 - H^2 \operatorname{ctg}^2 \alpha)} \quad (2)$$

Dengan :

$q$  = debit rembesan ( $\text{m}^3 / \text{det}$ )

$k$  = koefisien permeabilitas ( $\text{m}/\text{det}$ )

$\alpha$  = sudut hilir tanggul ( $^\circ$ )

$d$  = jarak horizontal antara E dan C (m)

$a$  = panjang zona basah (m)

$H$  = tinggi muka air (m)

Dan untuk perhitungan gradient hidolik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Syarat Keamanan} : \frac{i_c}{i_e} > 3 \text{ s/d } 4 \quad (3)$$

$$\text{Gradien Kritis} = i_c = \frac{\gamma}{\gamma_w} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \quad (4)$$

$$\text{Gradien Maksimum} = i_e = \frac{h}{B} \quad (5)$$

Dengan :

$\gamma'$  = Berat Volume Terapung

$\gamma_w$  = Berat Volume air

$i_c$  = Gradien hidrolis dari material

$i_e$  = Gradien hidrolis debit

$G_s$  = Berat jenis tanah

$e$  = Angka pori



## 2.5. Koefisien Gempa

Menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$K_h = \frac{PGAM}{g} \quad (6)$$

$$K = \alpha_1 \times K_h \quad (7)$$

Dengan :

PGAM= Percepatan puncak di permukaan tanah

$\alpha_1$  = Koreksi Pengaruh Daerah Bebas (Freefield) (bendungan tipe urugan : 0,7)

K = Koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas.

g = Gravitasi (980 cm/det ).

## 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Lokasi Penelitian

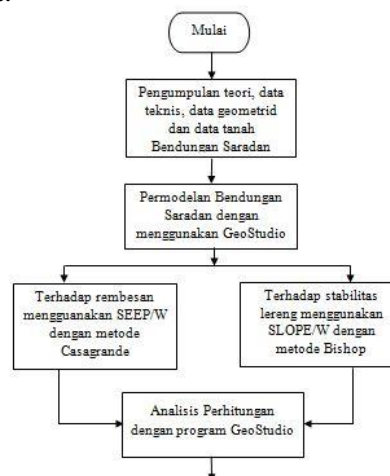
Lokasi penelitan Bendungan Saradan berada di Desa Pajaran, Kecamatan Saradan, Kabupaten Madiun, Provinsi Jawa Timur. Untuk lokasi waduk Saradan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 1. Lokasi Waduk Saradan

### 3.2. Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat dilihat pada bagan alir penelitan sebagai berikut.





Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

## 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Analisis Tingkat Resiko Bendungan

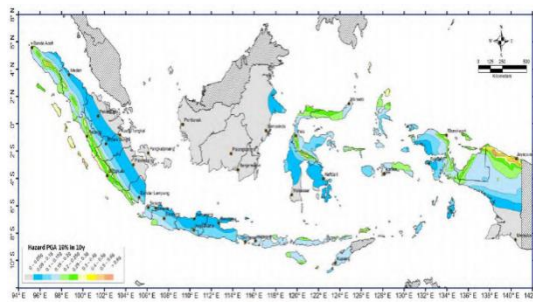
Berikut ini hasil analisis resiko Bendungan Saradan yang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.:

No	Faktor Resiko		Kategori	Nilai
1	Faktor resiko kapasitas tampung (Frk)	2,04 juta m <sup>3</sup>	tinggi	4
2	Faktor resiko tinggi bendungan (Frt)	8,40 m	tinggi	0
3	Faktor resiko kebutuhan evakuasi (Fre)	>1000	ekstrem	12
4	Faktor resiko tingkat kerusakan (Frh)	Tinggi	tinggi	10
Jumlah				26

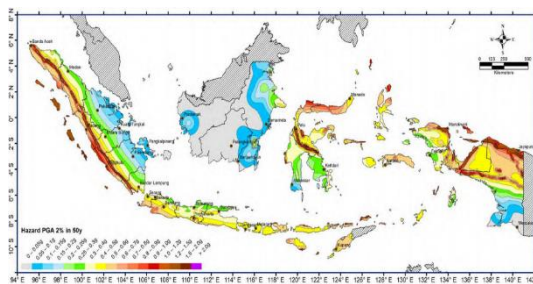
Bendungan Saradan termasuk bendungan dengan kelas risiko III (Tinggi) sehingga kriteria beban gempa untuk desain bendungan bagi gempa OBE menggunakan tahun kala ulang 100 tahun sedangkan bagi gempa MDE menggunakan kala ulang gempa 5.000 tahun.

### 4.2. Perhitungan Koefisien Gempa

Tahap perhitungan nilai beban gempa ini dilaksanakan berlandaskan nilai koefisien pada peta gempa sesuai dengan jenis gempa OBE (Gambar 3) dan MDE (Gambar 4).



Gambar 3. Peta Zona gempa OBE



Gambar 4. Peta Zona gempa MDE

Dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

1. Perhitungan gempa OBE

$$Ad = 0,1$$

$$g = 0,981 \text{ dm/s}^2$$

$$f = 0,1/0,981$$

$$= 0,1019$$

$$K = 0,1019 \times 0,7$$

$$= 0,07135$$

2. Perhitungan gempa MDE

$$Ad = 0,4$$

$$g = 0,981 \text{ dm/s}^2$$

$$f = 0,4/0,981$$

$$= 0,4077$$

$$K = 0,407 \times 0,7$$

$$= 0,2854$$



### 4.3. Perhitungan Rembesan Manual

Pada perhitungan kali ini dilakukan dengan tinjauan kondisi muka air banjir.

$$H_{hulu} = 8,021 \text{ m}$$

$$H^2_{Hulu} = 64,336 \text{ m}$$

$$\alpha = 23,48$$

$$\tan \alpha = 0,4343$$

$$\cot^2 \alpha = 5,2992$$

$$\sin \alpha = 0,3984$$

$$\sin^2 \alpha = 0,1587$$

$$k = 1,45E-10 \text{ m/det}$$

$$d = 24.131 \text{ m}$$

$$d^2 = 582.9562 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} a &= \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{d^2 - H^2 \times \cot^2 \alpha} \\ &= \sqrt{(582,3051 + 64,336)} - \sqrt{582,3052 - 64,336 \times 5,2992} \\ &= 9,892 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= k \times a \times \sin^2 \alpha \times \text{Panjang Bendungan} \\ &= 1,45 \times 10^{-10} \times 9,892 \times 0,1587 \times 730 \\ &= 1,66 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{det} \end{aligned}$$

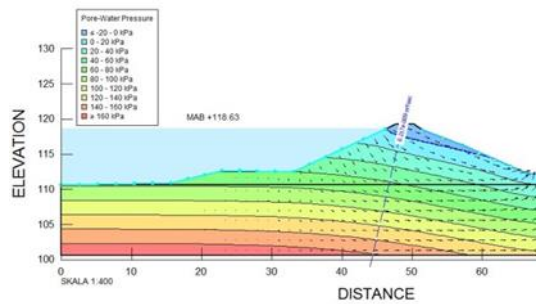
Maka didapatkan hasil debit rembesan total ( $Q_{total}$ ) pada kondisi muka air banjir didapatkan nilai rembesan sebesar  $1,66 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{det}$ .

Untuk perhitungan kondisi muka air yang lain dilakukan dengan perhitungan yang sama seperti diatas.

### 4.4. Perhitungan Rembesan dengan SEEP/W

Pada perhitungan kali ini dihitung pada kondisimuka air banjir. Dalam perhitungan ini digunakan SEEP/W sebagai instrumentnya sebagaimana pada Gambar 5 berikut.





Gambar 5. Hasil Perhitungan Rembesan dengan SEEP/W Dengan Kondisi Muka Air Banjir

Berdasarkan data teknis bendungan Saradan memiliki panjang puncak 730 m sehingga total rembesan sebagai berikut.

$$Q_{total} = 6,217 \times 10^{-9} \times 730$$

$$= 4,538 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$$

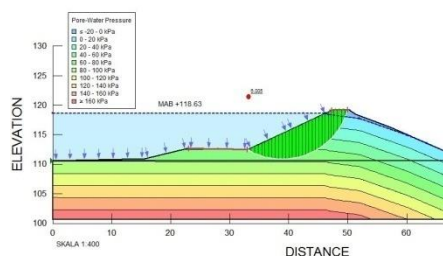
Hasil rekapitulasi perbandingan perhitungan manual dan SEEP/W dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Debit Rembesan

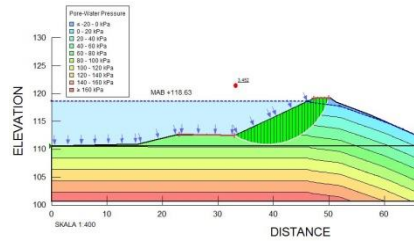
No	Kondisi	Hasil manual	Hasil software
1	Muka air banjir	$1,66 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$	$4,538 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$
2	Muka air normal	$1,25 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$	$3,931 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{dt}$
3	Muka air minimum	$1,06 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{dt}$	$4,966 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{dt}$

#### 4.5. Perhitungan Stabilitas dengan Garis Freatik Manual

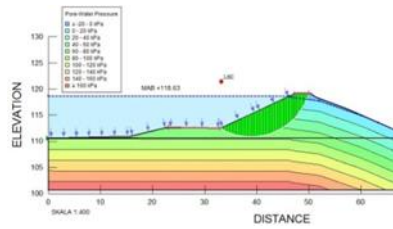
Perhitungan stabilitas di tubuh bendungan Saradan dengan garis freatik manual dilakukan dengan bantuan aplikasi GeoStudio dalam bentuk SLOPE/W. Percobaan ini dilakukan pada 4 keadaan muka air yaitu banjir, normal, minimum dan surut cepat (rapid draw down). Pada setiap kondisi ditambahkan dengan beban gempa OBE dan MDE. Berikut hasil perhitungan kondisi muka air banjir.



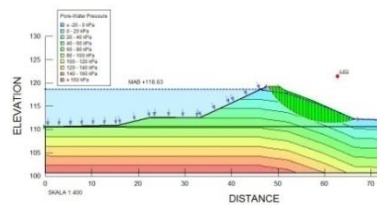
Gambar 6. Hasil perhitungan stabilitas upstream tanpa gempa dengan garis freatik manual pada kondisi muka air banjir



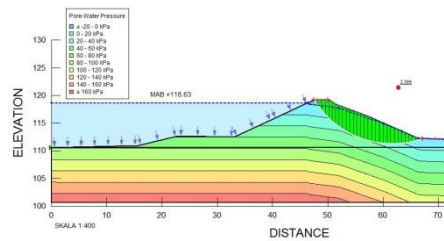
Gambar 7. Hasil perhitungan stabilitas upstream dengan beban gempa OBE dan dengan garis freatik manual pada kondisi muka air banjir



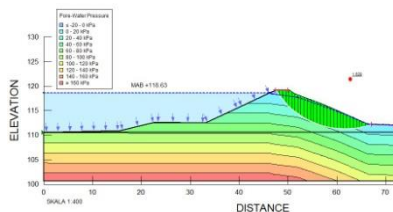
Gambar 8. Hasil perhitungan stabilitas upstream dengan beban gempa MDE dan dengan garis freatik manual pada kondisi muka air banjir



Gambar 9. Hasil perhitungan stabilitas downstream tanpa gempa dengan garis freatik manual pada kondisi muka air banjir



Gambar 10. Hasil perhitungan stabilitas downstream denganbebangempa OBE dan dengan garis freatik manual pada kondisimuka air banjir



Gambar 11. Hasil perhitungan stabilitas downstream dengan beban gempa MDE dan dengan garis freatik manual pada kondisi muka air banjir

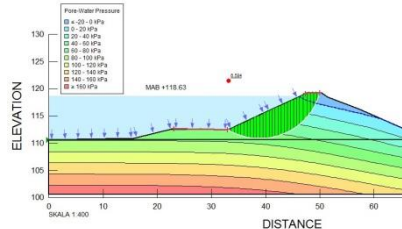


Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng dengan Garis Freatik Manual

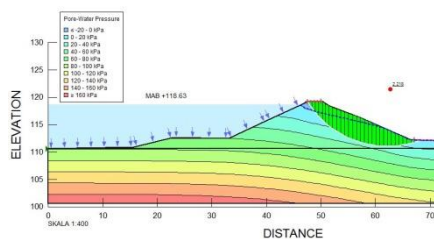
SITUASI	U/D	TANPA GEMPA			GEMPA OBE			GEMPAMDE		
		TANPA GEMPA	SYARAT	STATUS	GEMPA	SYARAT (SNI)	STATUS	GEMPA	SYARAT	STATUS
MAB	U	6.005	1.5	AMAN	3.452	1.2	AMAN	1.457	1	AMAN
	D	2.069	1.5	AMAN	1.628	1.2	AMAN	0.972	1	TIDAK
MAN	U	5.037	1.5	AMAN	3.124	1.2	AMAN	1.407	1	AMAN
	D	2.186	1.5	AMAN	1.721	1.2	AMAN	1.028	1	AMAN
MAM	U	2.541	1.5	AMAN	2.031	1.2	AMAN	1,245	1	AMAN
	D	2.696	1.5	AMAN	2.119	1.2	AMAN	1.269	1	AMAN
RDD	U	1.899	1.3	AMAN	1.541	1.1	AMAN	0.973	1	TIDAK
	D	2.071	1.3	AMAN	1.629	1.1	AMAN	0.924	1	TIDAK

#### 4.6. Perhitungan Stabilitas dengan Garis Freatik SEEP/W

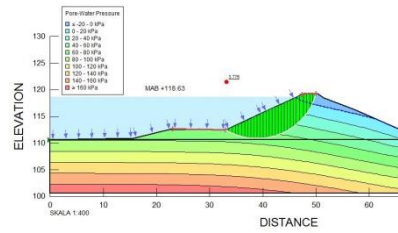
Perhitungan stabilitas pada tubuh bendungan Saradan dengan garis freatik hasil SEEP/W dilakukan dengan bantuan aplikasi Geostudio dalam bentuk SLOPE/W. Percobaan ini dilaksanakan pada 4 kondisi muka air yaitu banjir, normal, minimum dan surut tiba-tiba (*rapid draw down*). Pada setiap kondisi ditambahkan dengan beban gempa OBE dan MDE. Berikut hasil perhitungan pada keadaan muka air banjir.



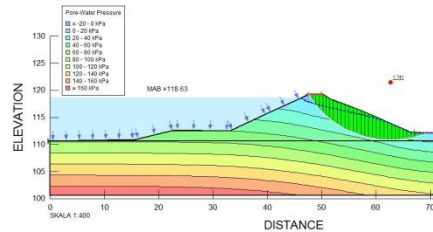
Gambar 12. Hasil perhitungan stabilitas upstream tanpa beban gempa dengan slope/w pada kondisi muka air banjir



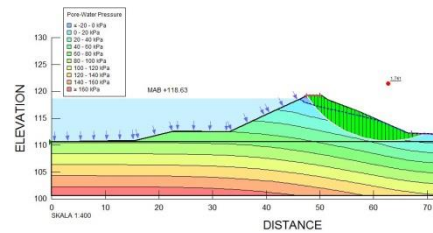
Gambar 13. Hasil perhitungan stabilitas downstream tanpa beban gempa dengan slope/w pada kondisi muka air banjir



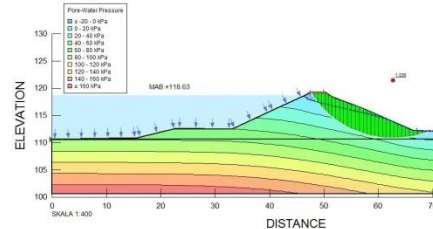
Gambar 14. Hasil perhitungan stabilitas upstream dengan slope/w dengan diberi beban gempa OBE pada kondisi muka air banjir



Gambar 15. Hasil perhitungan stabilitas downstream dengan slope/w dengan diberi beban gempa OBE pada kondisi muka air banjir



Gambar 16. Hasil perhitungan stabilitas upstream dengan slope/w dengan diberi beban gempa MDE pada kondisi muka air banjir



Gambar 17. Hasil perhitungan stabilitas downstream dengan slope/w dengan diberi beban gempa MDE pada kondisi muka air banjir

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas dengan SEEP/W

SITUASI	U/D	TANPA GEMPA			GEMPA OBE			GEMPA MDE		
		TANPA GEMPA	SYARAT	STATUS	GEMPA	SYARAT (SNI)	STATUS	GEMPA	SYARAT	STATUS
MAB	U	6.684	1.5	AMAN	3.776	1.2	AMAN	1.593	1	AMAN
	D	2.218	1.5	AMAN	1.741	1.2	AMAN	1.036	1	AMAN
MAN	U	5.432	1.5	AMAN	3.374	1.2	AMAN	1.523	1	AMAN



	D	2.299	1.5	AMAN	1.803	1.2	AMAN	1.074	1	AMAN
MAM	U	2.557	1.5	AMAN	2.045	1.2	AMAN	1.254	1	AMAN
	D	2.690	1.5	AMAN	2.114	1.2	AMAN	1.265	1	AMAN
RDD	U	1.887	1.3	AMAN	1.505	1.1	AMAN	0.919	1	TIDAK
	D	2.100	1.3	AMAN	1.653	1.1	AMAN	0.988	1	TIDAK

## 5 KESIMPULAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dengan melakukan analisis stabilitas dan rembesan pada Bendungan Saradan disimpulkan sebagai berikut.

1. Bendungan Saradan ini termasuk golongan bendungan berisiko tinggi karena mempunyai nilai tingkat risiko 26 point.
2. Bendungan Saradan pada kondisi muka air banjir dengan perhitungan angka keamanan stabilitas upstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka kemanan sebesar  $6,005 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $3,452 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,457 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka kemanan sebesar  $2,069 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,628 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $0,972 > 1$  (Tidak Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan GeoStudio didapat angka kemanan tanpa gempa  $6,684 > 1,5$  (Aman), dengan beban gempa OBE  $3,776 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE sebesar  $1,593 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka kemanan sebesar  $2,218 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,741 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,036 > 1$  (Aman). Rembesan yang terjadi di bendungan Saradan dengan garis freatik manual sebesar  $1,66 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{dt}$ , sedangkan dengan SEEP/W sebesar  $4,538 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{dt}$ . Analisis gradient hidrolis pada kondisi muka air banjir diperoleh nilai SF sebesar 1,96.
3. Bendungan Saradan pada kondisi muka air normal dengan perhitungan angka keamanan stabilitas upstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka kemanan sebesar  $5,037 > 1,5$  (Aman), dengan beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $3,124 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,407 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka kemanan sebesar  $2,186 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,721 > 1,2$  (Aman), dan beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,028 > 1$  (Tidak Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan Geoslope diperoleh angka kemanan tanpa gempa  $5,432 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE  $3,374 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE sebesar  $1,523 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan



stabilitas downstream tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,299 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,803 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,074 > 1$  (Aman). Rembesan yang terjadi di bendungan Saradan dengan garis freatik manual sebesar  $1,25 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{dt}$  dan dengan SEEP/W sebesar  $3,931 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{dt}$ . Analisis gradient hidrolis pada kondisi muka air normal diperoleh nilai SF sebesar 2,26.

4. Bendungan Saradan pada kondisi muka air minimum dengan perhitungan angka keamanan stabilitas upstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,541 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $2,031 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,245 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,696 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $2,119 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,269 > 1$  (Tidak Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan Geoslope diperoleh angka keamanan tanpa gempa  $2,557 > 1,5$  (Aman), dengan beban gempa OBE  $2,045 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE sebesar  $1,254 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,690 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $2,114 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $1,265 > 1$  (Aman). Rembesan yang terjadi di bendungan Saradan dengan garis freatik manual sebesar  $1,06 \times 10^{-8} \text{m}^3/\text{dt}$  dan dengan SEEP/W sebesar  $4,966 \times 10^{-7} \text{m}^3/\text{dt}$ . Analisis gradient hidrolis pada kondisi muka air minimum diperoleh nilai SF sebesar 9,34.
5. Bendungan Saradan pada kondisi surut cepat (Rapid Drawdown) dengan perhitungan angka keamanan stabilitas upstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $1,899 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,514 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $0,973 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream dengan garis freatik manual tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,071 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,629 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $0,924 > 1$  (Tidak Aman). Kemudian perhitungan dengan permodelan Geoslope diperoleh angka keamanan tanpa gempa  $1,887 > 1,5$  (Aman), dengan beban gempa OBE  $1,505 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE sebesar  $0,919 > 1$  (Aman), sedangkan untuk angka keamanan stabilitas downstream tanpa adanya beban gempa mempunyai nilai angka keamanan sebesar  $2,100 > 1,5$  (Aman), beban gempa OBE nilai angka keamanan sebesar  $1,653 > 1,2$  (Aman), beban gempa MDE angka keamanan sebesar  $0,988 > 1$  (Tidak Aman).

## 5.2. Saran



Berdasarkan kesimpulan yang telah dipaparkan diatas maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya, perlu dilakukan perbandingan antara debit rembesan hasil manual dan software dengan hasil pembacaan V-notch dilapangan.
2. Perlu dilakukan analisis stabilitas dengan menggunakan data pembacaan piezometer di lapangan.
3. Pada kondisi stabilitas yang tidak aman perlu dilakukan analisis alihan tetap (makdisi dan seed) dan analisis secara dinamik.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Air, D. J. 2008. "Analisis Dinamik Bendungan Urugan". Jakarta: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Ali Imron, D.S. 2017. "Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, dan Beban Gempa". Jurnal Teknik Sipil, 6, 83-90.
- Bowles, D.S. 2017. Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah). Jakarta: Erlangga.
- Das, B. 1995. "Mekanika Tanah : Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis Jilid I". Jakarta: Erlangga.
- Dipa, A. R. 2017. "Evaluasi Keamanan Tubuh Bendungan Saradan". Universitas Islam Indonesia.
- Hamdhan, I. 2019. "Analisis Rembesan dan Stabilitas Bendungan Bajulmati dengan Metode Elemen Hingga Model 2D dan 3D". Jurnal Online Institut Teknologi Nasional.
- Hardiyatmo, H. 2002. "Mekanika Tanah 2 Edisi 3". Yogyakarta: Gadjah Mada University.
- Hardiyatmo, H. 2017. "Mekanika Tanah I". Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Indonesia, S. N. 2017. "Persyaratan Perancangan Geoteknik". Jakarta: Bandar Standardisasi Nasional.
- Konstruksi, P, P. 2008. "Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Perhitungan Rembesan". Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Konstruksi, P, P. 2017. "Modul Analisa Stabilitas Bendungan : Stabilitas Lereng". Bandung: Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Nasional, P. S. 2017. "Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia". Bandung: Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- PT Multimera Harapan. (2020). Laporan Hidrologi. Semarang.
- Standar Nasional Indonesia. (2016). "SNI 8064:2016 (Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Urugan)". Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Sunday, D, dan Azmeri (2013). "Kajian Kestabilan Tubuh Waduk Rukoh Kecamatan Titieu Keumal Kabupaten Pidie". (<https://scholar.google.co.id>)
- Wilayah, D. P.(2004). "Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa". Jakarta: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah