



## **PENILAIAN RISIKO KEAMANAN BENDUNGAN DI JAWA TIMUR**

### **DAM SAFETY RISK ASSESSMENT IN EAST JAVA**

**Maria A. Hana Pramudawati<sup>1)</sup>\*, Mahdi Ibrahim Tanjung<sup>1)</sup>, Ranisa Ghafara<sup>1)</sup>**

<sup>1)</sup>Balai Teknik Hidrolik dan Geoteknik Keairan, Jl. Ir. H. Juanda No 193, Dago, Bandung, Indonesia

\*Corresponding author: [hana\\_maria14@yahoo.com](mailto:hana_maria14@yahoo.com)

Diterima: 23 Oktober 2019; Direvisi: 24 Agustus 2020; Disetujui: 27 November 2020

#### **ABSTRACT**

*Dam risk assessment is basically an additional to a standard-based approach, which is a conservative approach to dam engineering. For existing and new dams, dam risk assessment aims to determine whether existing hazard risks can be tolerated, and if hazard risks cannot be tolerated, actions to reduce risk are planned. Risk assessments for existing dams can also be used as a basis for determining priorities in carrying out the required repair or rehabilitation work. This paper discusses the dam risk assessment at Sengguruh Dam, Sutami Dam, Lahor Dam, Wlingi Dam, Bening Dam, Wonorejo Dam and Selorejo Dam. The methods used in risk assessment include the preparation of risk assessments, risk analysis, risk evaluation, risk reduction and management. These seven dams are managed by one manager, namely PJT I and are considered to be representative of this method that can be used to determine the priority value of dam handling. Based on the results of the assessment, the 7 dams fulfill the risk criteria. The next action that can be taken for these dams is to monitor the dam's behavior on a regular basis and in the aftermath of the earthquake, renew and socialize the RTD.*

**Keywords:** Dam, risk assessment, risk analysis, risk evaluation, risk management

#### **ABSTRAK**

*Penilaian risiko bendungan pada dasarnya merupakan suplemen atau tambahan dari pendekatan berbasis standar (standard based approach) yaitu pendekatan konservatif untuk rekayasa teknik bendungan. Untuk bendungan-bendungan yang sudah ada baik yang baru maupun yang lama, penilaian risiko bendungan bertujuan untuk mengetahui apakah risiko bahaya yang ada dapat ditoleransi, dan apabila risiko bahaya tidak dapat ditoleransi maka perlu direncanakan tindakan-tindakan untuk mengurangi risiko. Penilaian risiko untuk bendungan-bendungan yang sudah ada juga dapat dijadikan dasar untuk menentukan prioritas dalam melakukan pekerjaan perbaikan atau rehabilitasi yang diperlukan. Dalam makalah ini dibahas mengenai penilaian risiko keamanan bendungan pada Bendungan Sengguruh, Sutami, Lahor, Wlingi, Bening, Wonorejo dan Selorejo. Metode yang dilakukan dalam penilaian risiko meliputi penyusunan penilaian risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, pengurangan dan manajemen risiko. Tujuh bendungan ini dikelola oleh satu pengelola yaitu PJT I dan dianggap bisa mewakili metode ini yang bisa digunakan untuk menentukan nilai prioritas penanganan bendungan. Berdasarkan hasil penilaian, 7 bendungan tersebut memenuhi kriteria risiko. Tindakan selanjutnya yang dapat dilakukan untuk bendungan-bendungan tersebut adalah melakukan pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa, memperbaharui dan mensosialisasikan RTD.*

**Kata kunci:** Bendungan, penilaian risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, manajemen risiko

## PENDAHULUAN

Bendungan disamping memiliki fungsi juga memiliki risiko. Seiring dengan semakin banyaknya jumlah bendungan yang dibangun dan banyaknya bendungan yang semakin menua, ditambah lagi pertambahan penduduk yang besar berpotensi meningkatkan risiko bendungan. Untuk itu perlu dipahami manajemen risiko keamanan bendungan yang baik.

Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana pasal 40 mengamanatkan bahwa: “setiap kegiatan pembangunan yang mempunyai risiko tinggi yang menimbulkan bencana dilengkapi dengan analisis risiko bencana sebagai bagian dari usaha penanggulangan bencana”. Kewajiban analisis risiko bencana secara lebih rinci disebutkan di dalam Peraturan Pemerintah Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana pasal 12. Dalam hal keamanan bendungan, penilaian risiko bendungan pada dasarnya adalah merupakan suplemen atau tambahan dari pendekatan berbasis standar (*standard based approach*) yaitu pendekatan tradisional untuk rekayasa teknik bendungan, dimana risiko-risiko dikendalikan dengan mengikuti peraturan-peraturan yang ditetapkan untuk perencanaan, pembebanan, kapasitas struktur, angka keamanan dan langkah-langkah desain.

Untuk bendungan-bendungan yang sedang dalam tahap perencanaan, penilaian risiko bertujuan untuk menetapkan kriteria dan penyempurnaan desain agar risiko bahaya bendungan dapat diminimalkan. Sedang untuk bendungan-bendungan yang sudah ada baik yang baru maupun yang lama, penilaian risiko bendungan bertujuan untuk mengetahui apakah risiko bahaya yang ada dapat ditoleransi, dan apabila risiko bahaya tidak dapat ditoleransi maka perlu direncanakan tindakan-tindakan untuk mengurangi risiko. Penilaian risiko untuk bendungan-bendungan yang sudah ada juga bertujuan untuk menentukan prioritas untuk melakukan pekerjaan perbaikan atau rehabilitasi yang diperlukan. Penilaian risiko dibagi menjadi 2, yaitu penilaian secara kualitatif dan penilaian secara kuantitatif.

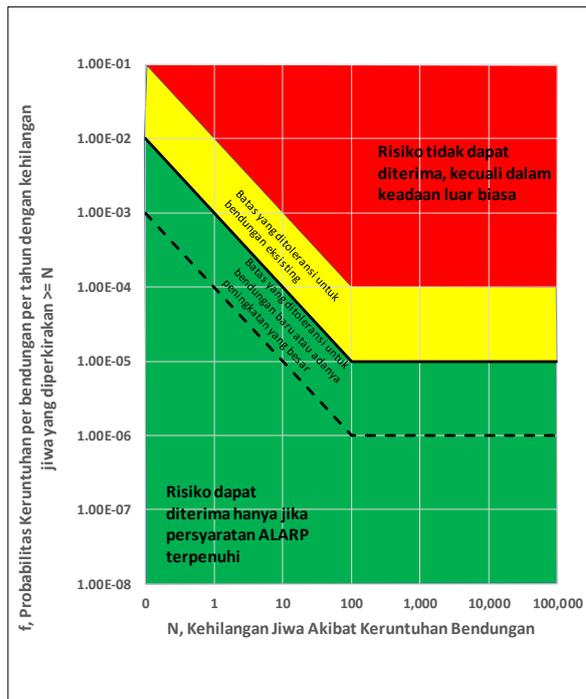
Penilaian secara kualitatif yaitu dengan metode Andersen dan modifikasi ICOLD. Dalam metode Andersen ini diperlukan parameter-parameter analisis dan hasilnya berupa bobot/nilai (*score*), yang kemudian diurutkan berdasarkan peringkat prioritas (*priority rank*) tingkat risikonya. Parameter-parameter tersebut

berdasarkan tabel-tabel bobot (*score*) yang dikembangkan oleh Andersen, dkk. (1999, 2001a & 2001b), dan telah dimodifikasi untuk kondisi Indonesia. Dan untuk penilaian risiko dengan modifikasi ICOLD didasari hasil inspeksi bendungan, informasi desain dan konstruksi, laporan pemantauan, laporan penyelidikan dan laporan inspeksi sebelumnya serta diskusi dengan staf O&P bendungan. Stabilitas statis di bendungan mencakup ketidakstabilan lereng, beban berlebihan pada bendungan dan/atau pada fondasi, filter yang tidak memadai dan piping melalui bendungan dan/atau fondasi, kerusakan di saluran pengeluaran atau yang berhubungan dengan saluran tersebut, kerusakan struktur pada fondasi geologi, dan rembesan berlebihan yang mengarah pada erosi buluh (Indrawan dkk., 2013). Sedangkan untuk kuantitatif dengan metode probabilistik. Metode probabilistik digunakan oleh ANCOLD dan USBR, dan dalam makalah ini metode ini yang diacu.

Analisis Risiko dimulai dari identifikasi bahaya, menentukan mode keruntuhan, perhitungan kemungkinan, memperkirakan konsekuensi, kemudian dihitung risikonya. Hasil perhitungan risiko tersebut kemudian dievaluasi menggunakan grafik f-N, hasil evaluasi ini menentukan tindakan penanganan risiko, apakah harus diturunkan risikonya atau cukup dipertahankan.

Grafik plot f-N menunjukkan mode keruntuhan individual yang menggambarkan potensi hilangnya nyawa seperti yang diperkirakan jumlah nyawa yang akan hilang (N) pada sumbu x dan probabilitas keruntuhan tahunan (f) terkait dengan hilangnya nyawa pada sumbu y. Sebuah grafik plot f-N menggambarkan risiko masyarakat yang berdampak pada masyarakat sebagai keseluruhan. Selain menampilkan perkiraan risiko untuk potensi individu mode keruntuhan, risiko total pada fasilitas mempertimbangkan semua potensial mode kegagalan di plot. Grafik plot f-N dapat dilihat pada gambar berikut.

Salah satu penyebab utama kegagalan bendungan adalah *Internal erosion* timbunan atau fondasinya. Sayangnya potensi mode kegagalan ini tidak dapat dianalisis secara lengkap menggunakan formulasi atau model numerik. Meskipun demikian informasi berharga pada perilaku timbunan dan fondasi tersedia untuk membantu dalam penilaian risiko internal erosi. Urutan kejadian yang umum untuk mode kegagalan internal erosi adalah dibagi 4 tahap, yaitu inisiasi, berlanjut, berkembang, runtuh.



**Gambar 1** Grafik f-N Evaluasi Risiko Keamanan Bendungan

Sebagai tambahan, dinilai juga batasan elevasi waduk (atau beberapa rentang elevasi) dan kemungkinan ketidak berhasilan mendeteksi dan/atau mengintervensi. Konsekuensi juga dievaluasi untuk setiap pohon kejadian, pohon kejadian yang digunakan dalam analisis adalah sebagai berikut.

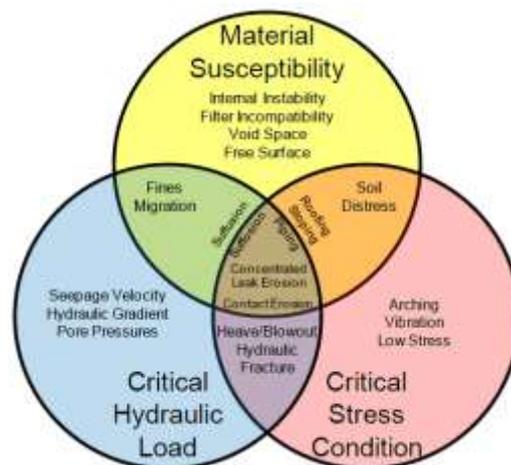
- Muka air waduk
- Inisiasi - mulai erosi

- Berlanjut - tidak terfilter atau kurangnya kemampuan memfilter
- Berlanjut - pembatas atau zona *upstream* gagal untuk membatasi aliran
- Berlanjut - *No self-healing* dari zona *upstream*
- Ketidakberhasilan mendeteksi dan intervensi
- Runtuh (Keluarnya air dari waduk tidak terkontrol)

Garner dan Fannin (2010) mengembangkan diagram Venn seperti gambar dibawah, untuk menggambarkan bahwa erosi dimulai saat peluang yang tidak menguntungkan berupa kerentanan material, kondisi tegangan, dan beban hidraulik bertemu.

Untuk menghitung distribusi probabilitas faktor keamanan hasil analisis stabilitas lereng digunakan skema Monte Carlo dengan bantuan perangkat lunak SLOPE/W, dengan menggunakan input parameter kuat geser suatu distribusi probabilitas. Idealnya setiap bendungan memiliki distribusi probabilitas parameter masing-masing, karena keterbatasan data maka distribusi probabilitas diambil dari literatur.

Faktor keamanan hanya sebuah indeks yang menunjukkan stabilitas lereng relatif, sehingga tidak menunjukkan tingkat risiko suatu lereng yang sebenarnya akibat variabilitas parameter. Dengan analisis probabilistik, dua indeks yang penting untuk mengukur stabilitas atau tingkat risiko suatu lereng. Kedua indeks ini dikenal sebagai probabilitas kegagalan dan indeks reliabilitas.



Sumber: Garner dan Fannin (2010)

**Gambar 2** Faktor-faktor Penyebab Initiation of Internal Erosion

**Tabel 1** Nilai Estimasi untuk Initiation of Internal erosion

	BEP	Migrasi Internal	Pemeriksaan	Suffusion/Suffosion	Total
Timbunan	3*	1	2	1	$3 \times 10^{-4}$ s/d $1 \times 10^{-3}$
Pondasi	8	21	25	16	$2 \times 10^{-3}$ s/d $1 \times 10^{-2}$
Timbunan lalu Pondasi	0	0	6	0	$2 \times 10^{-4}$ s/d $1 \times 10^{-3}$
Sepanjang Konduit	1	4	0	0	$4 \times 10^{-4}$ s/d $1,5 \times 10^{-3}$
Drainase	4	7	0	0	$5 \times 10^{-5}$ s/d $2 \times 10^{-3}$
Total	$5 \times 10^{-4}$ s/d $2,5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$ s/d $5 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$ s/d $5 \times 10^{-3}$	$6 \times 10^{-4}$ s/d $2,5 \times 10^{-3}$	

Continuation: Unfiltered Exit Other Considerations

Sumber: USBR, 2015

**Tabel 2** Nilai  $\Phi$  Hasil Pengujian Laboratorium Untuk Macam-Macam Tanah

Jenis Tanah	Coefficient of Variation (COV)	Sumber
Semua jenis tanah	9	Lumb 1996
Lempung (Clay)	40	Kotzias et al. 1993
Alluvial	16	Wolff 1996
Pasir	2-5	Lacasse dan Nadim 1996
Tailings	5-20	Baecher et al. 1983

**Tabel 3** Koefisien Untuk Pengukuran Lapangan

Jenis pengujian	Properti	Jenis Tanah	Rata-rata	Satuan	COV (%)
CPT	qT	Clay	0.5 – 2.5	MN/m <sup>2</sup>	<20
	qc	Clay	0.5 – 2	MN/m <sup>2</sup>	20 – 40
	qc	Sand	0.5 - 30	MN/m <sup>2</sup>	20 - 60
VST	su	Clay	5 - 400	kN/m <sup>2</sup>	10 - 40
SPT	N	Clay & sand	10 - 70	Blows/ft	25 - 50
DMT	A reading	Clay	100 – 450	kN/m <sup>2</sup>	10 – 35
	A reading	Sand	60 – 1300	kN/m <sup>2</sup>	20 – 50
	B reading	Clay	500 – 880	kN/m <sup>2</sup>	10 – 35
	B reading	Sand	350 – 2400	kN/m <sup>2</sup>	20 – 50
	ID	Sand	1 – 8		20 – 60
	KD	Sand	2 – 30		20 – 60
	ED	Sand	10 - 50	MN/m <sup>2</sup>	15 – 65
PMT	pL	Clay	400 – 2800	kN/m <sup>2</sup>	10 - 35
	pL	Sand	1600 – 3500	kN/m <sup>2</sup>	20 – 50
	EPMT	Sand	5 – 15	MN/m <sup>2</sup>	15 – 65
Lab Index	wn	Clay & silt	13 – 100	%	8 – 30
	WI	Clay & silt	30 – 90	%	6 – 30
	Wp	Clay & silt	15 – 15	%	6 – 30
	PI	Clay & silt	10 – 40	%	-a
	LI	Clay & silt	10	%	-a
	$\gamma, \gamma_D$	Clay & silt	13 – 20	KN/m <sup>3</sup>	<10
	Dr	Sand	30 - 70	%	10-40
					50-70b

Sumber: Phoon dan Kulhawy (1999)

Probabilitas kegagalan ditentukan dengan menghitung jumlah faktor keamanan yang dibawah 1 kemudian mengambil angka ini sebagai persentase dari jumlah total percobaan Monte Carlo yang konvergen. Tingkat keamanan bendungan yang berpotensi bahaya tinggi didasarkan pada banjir maksimum yang mungkin terjadi (PMF) (Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2013). Input beban banjir dalam analisis risiko keamanan bendungan adalah kurva bahaya hidrologi (HHC) yang dibuat dari analisis bahaya hidrologi (HHA). Kurva bahaya hidrologi menggabungkan debit puncak, elevasi tampungan atau elevasi sungai, dan kemungkinan hubungan volume diplot terhadap kemungkinan terlampaui tahunan (ACE) atau ekuivalen probabilitas terlampaui tahunan (AEP).

Kurva bahaya hidrologi (HHC) memberikan besaran dan probabilitas untuk seluruh rentang debit puncak, volume banjir (hidrograf), dan elevasi waduk, dan tidak fokus hanya pada peristiwa tunggal. Kurva elevasi waduk dapat digunakan untuk menilai kemungkinan limpasan, sedangkan informasi hidrograf dapat digunakan untuk memberikan puncak, volume, dan durasi beban. Untuk memenuhi standar risiko untuk penilaian risiko keamanan bendungan, HHC bendungan dengan bahaya tinggi harus melampaui ACE (AEPs)  $1 \times 10^{-4}$  (1 dalam 10.000), dan melibatkan ahli hidrologi banjir yang menganalisis. Kurva hazard hidrologi ini kemudian diekstrapolasi berdasarkan distribusi probabilitas yang cocok untuk memberikan estimasi ACE (AEP) pada kisaran yang sesuai dengan persyaratan keamanan bendungan.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, yaitu:

- 1 Penyusunan penilaian risiko, meliputi penetapan tujuan studi penilaian risiko, pengumpulan data, dan inspeksi bendungan.

- 2 Analisis Risiko, meliputi identifikasi bahaya bendungan; studi literatur analisis model kegagalan bendungan; penetapan status pembebanan, skenario dan peluang; perkiraan kemungkinan kegagalan; perkiraan konsekuensi kegagalan bendungan; perkiraan risiko.
- 3 Evaluasi Risiko, meliputi penetapan kriteria risiko yang ditoleransi, membandingkan risiko dengan kriteria risiko yang dapat ditoleransi.
- 4 Pengurangan risiko dan manajemen risiko, meliputi membuat opsi tindakan pengurangan risiko, dan tindakan mempertahankan risiko yang masih pada tingkat yang ditoleransi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap-tahap analisis risiko yang dilakukan yaitu:

- 1 Identifikasi bahaya,
- 2 Analisis mode keruntuhan,
- 3 Perhitungan kemungkinan,
- 4 Perkiraan konsekuensi, dan
- 5 Perhitungan risiko.

Tahap pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah inspeksi lapangan untuk mengidentifikasi bahaya di bendungan-bendungan. Hasil inspeksi lapangan dapat dilihat pada Tabel 5. Tahap selanjutnya adalah analisis mode keruntuhan, perhitungan kemungkinan, perkiraan konsekuensi, dan perhitungan risiko. Analisis mode keruntuhan disimpulkan berdasarkan hasil identifikasi bahaya diketahui mode keruntuhan yang paling menentukan adalah *overtopping*, stabilitas lereng gempa, *internal erosion*, stabilitas lereng statik. Perhitungan kemungkinan didapatkan berdasarkan mode keruntuhan masing-masing bendungan. Perkiraan konsekuensi merupakan analisis penduduk yang terkena risiko akibat mode keruntuhan tersebut.

**Tabel 4** Identifikasi bahaya Bendungan-bendungan

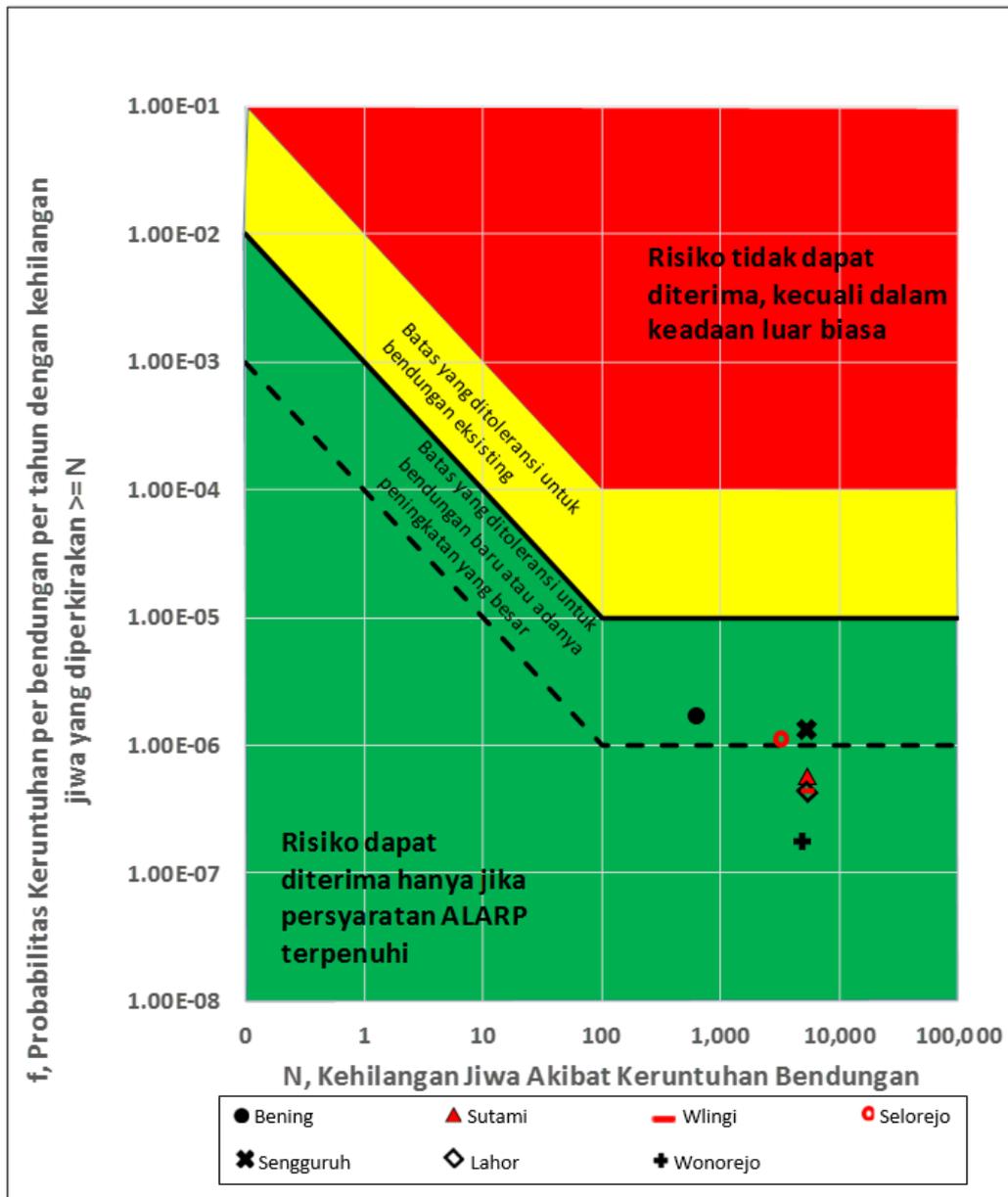
Nama Bendungan	Identifikasi bahaya	
	Faktor yang Merugikan	Faktor yang Menguntungkan
Sengguruh	Luas Das = 1659 km <sup>2</sup> , kapasitas pelimpah = 360 m <sup>3</sup> /s	Ada pelimpah darurat
	PGA 10000 thn = 0.63 g, freeboard 3 m	Bendungan Tipe Urugan Batu dengan Inti Tegak Fondasi Batu, Kemiringan Lereng >= 1:2
	Tekanan Pisometer P7, dan P13 sejak bulan februari 2017 turun dan tidak kembali keposisi normal, sedangkan P8 mengalami peningkatan dan tidak kembali keposisi	-
	-	Bendungan Tipe Urugan Batu dengan Inti Tegak Fondasi Batu, Kemiringan Lereng >= 1:2
Sutami	Desain 0.5 PMF	Tinggi jagaan 6.5 m
	PGA 10000 thn = 0.63 g	Bendungan Tipe Urugan Batu dengan Inti Tegak Fondasi Batu, Kemiringan Lereng >= 1:2
	Tekanan Pisometer P7, dan P13 sejak bulan februari 2017 turun dan tidak kembali keposisi normal, sedangkan P8 mengalami peningkatan dan tidak kembali keposisi	Bendungan Tipe Urugan Batu dengan Inti Tegak Fondasi Batu Kemiringan Lereng >= 1:2, Freeboard 6.5 m
	Terdapat retakan memanjang pada puncak bendungan terdapat retakan	-
	Pada potongan A tekanan air pada pisometer VWP-8 sejak awal 2015 mengalami penurunan namun polanya masih berfluktuasi mengikuti muka air waduk, Untuk potongan B tekanan air pada pisometer VWP-18 sejak awal 2013 mengalami penurunan namun polanya masih berfluktuasi mengikuti muka air waduk.	-
Lahor	PGA 10000 thn = 0.63 g, kemiringan lereng hilir < 1:2	Bendungan Tipe Urugan Batu dengan Inti Tegak Fondasi Batu, Freeboard 5.3 m
	Pada potongan A tekanan air pada pisometer VWP-1 sejak 2013 mengalami penurunan namun polanya masih berfluktuasi mengikuti muka air waduk, sedangkan VWP- 4 mengalami peningkatan. Pada potongan C tekanan air pada pisometer VWP-14 mengalami penurunan sejak 2012, respon pisometer ini relatif kecil terhadap fluktuasi muka air waduk.	-
Wlingi	Tidak PMF	
	PGA 10000 tahun = 0.64 g	Bendungan tipe urugan batu dengan inti tegak fondasi batu, kemiringan lereng >= 1:2
Bening	PGA 10000 tahun = 0.6 g, urugan homogen	Kemiringan lereng 1:3
	Terdapat retakan melintang pada puncak bendungan, dial gate II cenderung bertambah sekitar 0.6 mm selama 2 tahun.	-
	Alat pengukur rembesan B dan C cenderung meningkat sejak tahun 2016.	-
Wonorejo	PGA 10000 tahun = 0.64 g	Bendungan tipe urugan batu dengan inti tegak fondasi batu, Kemiringan lereng >= 1:2
	Terdapat retakan memanjang pada puncak bendungan	Retakan tidak berkembang
Selorejo	PGA 10000 taun = 0.58 g, urugan homogen, freeboard 3 m	Material timbunan butir kasar fine to coarse dengan inti, kemiringan lereng > 1:3
	Basahan pada lereng dekat ebatmen kanan dan rembesan pada bukit sebelah tumpuan kiri cukup besar	-
	Alat pengukur rembesan B dan C cenderung meningkat sejak tahun 2016	-
	-	Tidak terlihat ada gejala dan riwayat masalah stabilitas lereng di tubuh bendungan.

Sumber : Hasil analisis

**Tabel 5** Analisis Risiko Bendungan-bendungan

Analisis Risiko						
Nama Bendungan	Mode keruntuhan	Kemungkinan	Konsekuensi	Level risiko	Total kemungkinan	Total risiko
Sengguruh	Overtopping	$1.00 \times 10^{-8}$	5560	$5.56 \times 10^{-5}$	$1.34 \times 10^{-6}$	$7.45 \times 10^{-3}$
	Stabilitas lereng gempa	$1.05 \times 10^{-6}$	5560	$5.84 \times 10^{-3}$		
	Internal erosi	$2.70 \times 10^{-7}$	5560	$1.50 \times 10^{-3}$		
	Stabilitas lereng statik	$1.00 \times 10^{-8}$	5560	$5.56 \times 10^{-5}$		
Sutami	Overtopping	$2.00 \times 10^{-8}$	5560	$1.11 \times 10^{-4}$	$4.95 \times 10^{-7}$	$2.75 \times 10^{-3}$
	Stabilitas lereng gempa	$1.05 \times 10^{-7}$	5560	$5.84 \times 10^{-4}$		
	Internal erosi	$1.00 \times 10^{-7}$	5560	$5.56 \times 10^{-4}$		
	Stabilitas lereng statik	$2.70 \times 10^{-7}$	5560	$1.50 \times 10^{-3}$		
Lahor	Stabilitas lereng gempa	$1.05 \times 10^{-7}$	5500	$5.78 \times 10^{-4}$	$3.96 \times 10^{-7}$	$2.17 \times 10^{-3}$
	Internal erosi	$2.70 \times 10^{-7}$	5500	$1.49 \times 10^{-3}$		
	Stabilitas lereng Statik	$1.00 \times 10^{-8}$	5500	$5.50 \times 10^{-5}$		
	Overtopping	$1.00 \times 10^{-8}$	5500	$5.50 \times 10^{-5}$		
Wlingi	Overtopping	$2.00 \times 10^{-8}$	5560	$1.11 \times 10^{-04}$	$4.90 \times 10^{-7}$	$2.72 \times 10^{-3}$
	Stabilitas lereng gempa	$4.50 \times 10^{-7}$	5560	$2.50 \times 10^{-3}$		
	Internal erosi	$1.00 \times 10^{-8}$	5560	$5.56 \times 10^{-5}$		
	Stabilitas statik	$1.00 \times 10^{-8}$	5560	$5.56 \times 10^{-5}$		
Bening	Stabilitas lereng gempa	$9.00 \times 10^{-7}$	626	$5.56 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-6}$	$7.45 \times 10^{-4}$
	Internal erosi	$1.00 \times 10^{-8}$	626	$6.26 \times 10^{-6}$		
	Internal erosi	$2.70 \times 10^{-7}$	626	$1.69 \times 10^{-4}$		
	Overtopping	$1.00 \times 10^{-8}$	626	$6.26 \times 10^{-6}$		
Wonorejo	Stabilitas lereng gempa	$1.50 \times 10^{-7}$	4873	$7.13 \times 10^{-4}$	$1.80 \times 10^{-7}$	$8.77 \times 10^{-4}$
	Stabilitas lereng statik	$1.00 \times 10^{-8}$	4873	$4.87 \times 10^{-5}$		
	Internal erosi	$1.00 \times 10^{-8}$	4873	$4.87 \times 10^{-5}$		
	Overtopping	$1.00 \times 10^{-8}$	4873	$4.87 \times 10^{-5}$		
Selorejo	Stabilitas lereng gempa	$5.00 \times 10^{-7}$	3368	$1.68 \times 10^{-3}$	$1.15 \times 10^{-6}$	$3.86 \times 10^{-3}$
	Internal erosi	$6.25 \times 10^{-7}$	3368	$2.11 \times 10^{-3}$		
	Stabilitas lereng statik	$1.00 \times 10^{-8}$	3368	$3.37 \times 10^{-5}$		
	Overtopping	$1.00 \times 10^{-8}$	3368	$3.37 \times 10^{-5}$		

Sumber : Hasil analisis



Gambar 3 Grafik f-N untuk 7 bendungan

Nilai total risiko masing-masing bendungan yang didapat dari hasil perhitungan risiko kemudian di plot pada grafik f-N. Dari hasil plot grafik f-N diketahui terdapat beberapa bendungan yang berada di area “risiko dapat diterima hanya jika persyaratan ALARP terpenuhi” (area hijau). Hasil evaluasi tersebut dijadikan sebagai acuan dalam menentukan penanganan selanjutnya.

Penanganan risiko setiap bendungan sebagian besar masih diperlukan pemantauan perilaku secara rutin dan pada kondisi setelah gempa serta perlu diperbaharui dan diadakan

sosialisasi RTD. Untuk bendungan Selorejo mengingat tubuh bendungan terdiri dari material sand dan gravel maka diperlukan kajian apakah material timbunan berpotensi likuifaksi.

Metode yang diacu dalam makalah ini merupakan metode dari ANCOLD dan USBR, jadi tidak terdapat perbedaan dengan metode risiko dari negara lain. Untuk detail penilaian risiko mengacu ke USBR, sedangkan untuk kriteria penilaian risiko mengacu ke ANCOLD dan Pedoman Balai Bendungan.

**Tabel 6** Penanganan risiko Bendungan-bendungan

Nama Bendungan	Penanganan Risiko		Keterangan	Prioritas
	Kegiatan Pengendalian			
Sengguruh	Pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	1
	Perbaharui dan sosialisasi RTD			
Selorejo	Pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	2
	Mengingat tubuh bendungan terdiri dari material sand dan gravel maka perlu kajian apakah material timbunan berpotensi likuifaksi			
Sutami	Pemantauan perilaku bendungan, retakan secara rutin pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	3
	Perlu kajian perilaku retakan pada puncak bendungan			
Wlingi	Pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	4
	Perbaharui dan sosialisasi RTD			
Lahor	Pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	5
	Perbaharui dan sosialisasi RTD			
Wonorejo	Pemantauan perilaku bendungan, retakan secara rutin pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	6
	Perbaharui dan sosialisasi RTD			
Bening	Pemantauan perilaku bendungan, retakan secara rutin pada kondisi setelah gempa		Memenuhi kriteria risiko	7
	Perbaharui dan sosialisasi RTD			

Sumber : Hasil analisis

## KESIMPULAN

Berdasarkan grafik f-N hasil penilaian untuk 7 bendungan tersebut diketahui memenuhi kriteria risiko yang dapat diterima untuk bendungan eksisting. Urutan prioritas pengelolaan risiko dari 7 bendungan tersebut yaitu Bendungan Sengguruh, Selorejo, Sutami, Wlingi, Lahor, Wonorejo, Bening. Tindakan selanjutnya yang dapat dilakukan sebagai upaya pengelolaan risiko jangka panjang pada bendungan-bendungan tersebut adalah melakukan pemantauan perilaku bendungan secara rutin dan pada kondisi setelah gempa, serta memperbaharui dan mensosialisasikan RTD.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada semua pihak (PJT I, Balai Bendungan, dan lain-lain) yang telah membantu baik dalam dukungan data maupun diskusi dalam rangka menyelesaikan tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi yang berkepentingan khususnya dalam pemantauan perilaku bendungan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Bouvier, C.J., & Back, W.E.. (1999). Ranking Procedure on Maintenance Tasks for Monitoring of Embankment Dams. *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE*, 125 (4), 247-259. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(1999\)125:4\(247\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1999)125:4(247))
- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Hover, W.H., & Cox, C.W. (2001). Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements To Embankment Dam Inventories. *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE*, 127 (4), 325-334. [DOI:10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:4\(325\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:4(325))
- Andersen, G.R., Cox, C.W, Chouinard, L.E., and Hover, W.H. (2001). Prioritization of Ten Embankment Dams According to Physical Deficiencies. *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg. ASCE*, 127 (4), 335-345. [DOI:10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2001\)127:4\(335\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2001)127:4(335))

- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2013). *Federal Guidelines for Dam Safety: Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams*. FEMA P-94, National Dam Safety Program, Mitigation Directorate, August, 38 p. <http://www.fema.gov/media-library/assets/documents/3898>
- Garner, S. J., & Fannin, R. J. (2010). Understanding Internal Erosion: A Decade Of Research Following A Sinkhole Event. *International Journal on Hydropower & Dams*, 17, 93–98
- Indrawan, D., Tanjung, M. I., & Sadikin, N. (2013). Penilaian Indeks Risiko Metode Modifikasi Andersen dan Modifikasi ICOLD untuk 12 Bendungan di Pulau Jawa. *Jurnal Sumber Daya Air*. Vol 9 No 2, hal 93-104
- Phoon, K.K., & Kulhawy, F.W. (1999). Characterisation of Geotechnical Variability. *Canadian Geotechnical Journal* 36, 612-624. <https://doi.org/10.1139/t99-038>
- USBR. (2015). *Best Practices in Dam and Levee Safety Risk Analysis*.