

**PENILAIAN RISIKO KEGAGALAN BENDUNGAN DAN TINDAKAN PENGURANGAN RISIKO
PADA BENDUNGAN NGLANGON**

***RISK ASSESSMENT OF DAM FAILURE AND RISK REDUCTION MEASURES
AT NGLANGON DAM***

Bramantyo Herawanto^{*1}, Suripin², Dyah Ari Wulandari³

¹Mahasiswa / Program Studi Magister Teknik Sipil / Fakultas Teknik / Universitas Diponegoro

^{2,3}Dosen / Program Studi Magister Teknik Sipil / Fakultas Teknik / Universitas Diponegoro

Korespondensi: bramantyo.herawanto@gmail.com

ABSTRAK

Kegagalan suatu bendungan yang telah beroperasi sangat berpotensi besar terjadi apabila pengelola tidak melakukan pemeliharaan dengan baik. Bendungan memerlukan pemeliharaan serta pengoperasian yang baik dan benar akan sangat berpengaruh pada keamanan bendungan itu sendiri. Terutama pada bendungan yang telah beroperasi cukup lama kegiatan pemeliharaan besar meliputi perbaikan dan rehabilitasi sangat dibutuhkan untuk menghindari keadaan terburuk seperti menghadapi bencana alam. Dikarenakan bendungan dapat menyebabkan dampak besar apabila terjadi kegagalan maka diperlukan adanya penilaian risiko untuk menganalisis dan mengevaluasi bahaya bendungan tersebut. Penelitian risiko yang dilakukan pada Bendungan Nglangon menggunakan metode pohon kejadian (*event tree*), tradisional dan modifikasi ICOLD. Berdasarkan hasil analisis probabilitas ekstrim individu dan kelompok baik metode tradisional maupun metode pohon kejadian, nilai probabilitas risiko berada di atas ambang batas nilai risiko yang dapat diterima yaitu sebesar $1.00E-05$ yang artinya Bendungan Nglangon memerlukan tindakan lebih lanjut. Hal ini sejalan dengan hasil penilaian risiko metode modifikasi ICOLD dengan klasifikasi III (tinggi) yang artinya Bendungan Nglangon termasuk kedalam bendungan yang memerlukan perhatian khusus dan tindakan perbaikan untuk mengurangi tingkat risiko pada Bendungan Nglangon.

Kata Kunci: Bendungan Nglangon, Penilaian Risiko, Metode Pohon Kejadian, Metode Tradisional, Metode Modifikasi ICOLD

ABSTRACT

The dam failure that has been operating has a great potential to occur if the administrator does not carry out proper maintenance. Dams require proper and correct maintenance and operation which will greatly affect the safety of the dam itself. Especially for dams that have been operating for a long time, major maintenance activities including repairs and rehabilitation are urgently needed to avoid the worst conditions such as facing natural disasters. Because a dam can cause a large impact if it fails, it is necessary to have a risk assessment to analyze and evaluate the hazard of the dam. Risk research conducted at the Nglangon Dam uses the event tree method, traditional and modified ICOLD. Based on the results of individual and group extreme probability analysis, both traditional and event tree methods, the risk probability value is above the acceptable risk value threshold of $1.00E-05$, which means that the Nglangon Dam requires further action. This is in line with the results of the ICOLD modified risk assessment method with classification III (high) which means that the Nglangon Dam is included in a dam that requires special attention and corrective actions to

reduce the level of risk in the Nglangon Dam.

Keywords: *Nglangon Dam, Risk Assessment, Event Tree Method, Traditional Method, ICOLD Modification Method*

PENDAHULUAN

Kegagalan suatu bendungan yang telah beroperasi sangat berpotensi besar terjadi apabila pengelola tidak melakukan pemeliharaan dengan baik. Bendungan memerlukan pemeliharaan serta pengoperasian yang baik dan benar akan sangat berpengaruh pada keamanan bendungan itu sendiri. Terutama pada bendungan yang telah beroperasi cukup lama kegiatan pemeliharaan besar meliputi perbaikan dan rehabilitasi sangat dibutuhkan untuk menghindari keadaan terburuk seperti menghadapi bencana alam. Dikarenakan bendungan dapat menyebabkan dampak besar apabila terjadi kegagalan maka diperlukan adanya penilaian risiko untuk menganalisis dan mengevaluasi bahaya bendungan tersebut.

Penilaian risiko dapat dilakukan dari tahap perencanaan hingga pada bendungan yang telah beroperasi. Penilaian risiko pada tahap perencanaan bertujuan untuk meminimalisir risiko kegagalan dan memantapkan desain. Pada bendungan yang telah beroperasi, penilaian risiko ini bertujuan untuk memberikan penilaian apakah bendungan tersebut masih dalam batas toleransi keamanan bendungan atau tidak. Apabila hasil penilaian diluar toleransi batas keamanan penilaian risiko ini akan memberikan kesimpulan kelas risiko untuk menentukan prioritas penanganan kerusakan guna meningkatkan keamanan bendungan.

Berdasarkan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011) tentang pedoman teknis penilaian risiko bendungan dihimbau untuk melakukan penilaian risiko dilakukan setiap 10 tahun sekali sejalan dengan kegiatan pemeriksaan besar. Bendungan yang paling utama dilakukan penilaian risiko memiliki kriteria tinggi diatas 75 meter dan kapasitas tampungan waduk minimal 100 juta m³ atau bendungan yang memiliki kelas bahaya tinggi menurut pedoman klasifikasi bahaya bendungan. Namun untuk meminimalisir kegagalan bendungan kegiatan pemeriksaan besar dan penilaian risiko dilakukan setiap 5 tahun sekali.

Bendungan Nglangon yang merupakan bendungan pertama di Indonesia dibangun oleh Pemerintah Hindia Belanda pada tahun 1911 sampai dengan 1914. Bendungan Nglangon

memiliki tinggi 21 meter, panjang 330 meter dan volume tampungan 956 ribu m³. Dikarenakan bendungan ini sudah sangat tua maka dapat dikatakan bendungan ini masuk dalam kelas bendungan dengan tingkat bahaya tinggi apabila terjadi kegagalan bendungan. Dalam memperkirakan probabilitas kegagalan suatu bendungan dapat menggunakan 2 (dua) metode yaitu metode tradisional dan metode pohon kejadian (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011). Metode tradisional adalah hasil perbandingan probabilitas kriteria keamanan bendungan dengan analisis keamanan bendungan, sedangkan pada metode pohon kejadian dilakukan penyusunan probabilitas tahapan kegagalan bendungan (Firmansyah & Sriyana, 2022). Selain kedua metode tersebut terdapat metode modifikasi ICOLD yang sering digunakan oleh Pemerintah Indonesia dalam mengidentifikasi tingkat risiko sebuah bendungan (World Bank, 2017).

Adapun metode modifikasi ICOLD yaitu penilaian risiko dengan menitikberatkan dampak yang terjadi di hilir akibat kegagalan bendungan itu sendiri. Penilaian risiko dilakukan berdasarkan data hasil inspeksi bendungan, desain perencanaan dan pelaksanaan konstruksi, laporan pemantauan perilaku bendungan, laporan penyelidikan dan laporan pemeriksaan yang pernah dilakukan sebelumnya, serta diskusi dengan petugas pengelola bendungan dalam penilaian faktor tambahan bendungan dan perhitungan faktor defisiensi struktur bendungan (Indrawan et al., 2013). Berdasarkan metode-metode tersebut selanjutnya dapat memperhitungkan skala prioritas perbaikan kerusakan yang terjadi di bendungan yang tentu saja bertujuan untuk mengurangi risiko yang terjadi apabila terjadi kegagalan bendungan. Pada penelitian ini akan menggunakan dua metode yaitu metode pohon kejadian dan metode modifikasi ICOLD.

TINJAUAN PUSTAKA

Penilaian Risiko

Penilaian Risiko merupakan bagian dari proses manajemen risiko, yaitu proses secara keseluruhan untuk menjaga risiko agar tetap berada

dalam batas toleransi dengan melakukan kajian ulang dan pengendalian terhadap risiko yang ada secara berkala dalam jangka panjang (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011).



Gambar 1. Alur penilaian risiko (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011)

Analisis Risiko

Analisis risiko adalah metode perkiraan untuk menentukan probabilitas suatu kejadian dapat terjadi dan besarnya konsekuensi yang diakibatkan oleh kejadian tersebut berdasarkan data yang tersedia. Proses penguraian dalam analisis risiko meliputi: (1) memisahkan sistem menjadi komponen-komponen dan fungsinya, mengidentifikasi mekanisme kegagalan fungsional,

dan (2) menganalisis setiap bagian mekanisme kegagalan secara terpisah, dan, mengkombinasikan kembali semua bagian. Adapun tahapan dalam analisis risiko antara lain: (1) Identifikasi bentuk bahaya atau model kegagalan, (2) Perkiraan probabilitas kegagalan, (3) Perkiraan konsekuensi kegagalan, dan (4) Perkiraan risiko.

Identifikasi Model Kegagalan Metode FMECA (*Failure Mode, Effects and Critically Analysis*)

Analisis model FMECA atau model kegagalan kekritisan dan akibatnya merupakan tingkat lanjut dari metode FMEA (*Failure Mode Effect Analysis*), dimana setiap model kegagalan diidentifikasi dan digambarkan probabilitas model kegagalannya terhadap tingkat keparahan (*severity*) konsekuensinya. Untuk menentukan nilai risiko suatu bahaya/*risk* (R) berdasarkan pada nilai kualitatif kemungkinan/*probability* (P) dan nilai kualitatif konsekuensi/*impact* (I) dari bahaya tersebut. Nilai kualitatif keyakinan/*confidence* (C) diperlukan untuk menentukan besarnya kekritisan/*critically* (Cr) suatu bahaya.

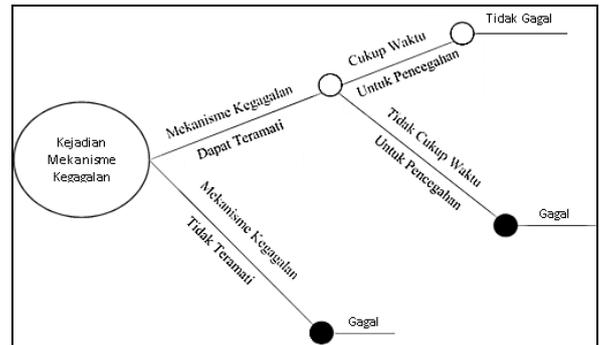
Tabel 1 Tingkat serta kriteria risiko

Tingkat	Deskripsi	Kriteria	Nilai
Sangat Tinggi	E Selalu Pasti (<i>Always Certain</i>)	-Dampak akan selalu terjadi -Dampak akan terjadi pada tiap kejadian -Kejadian sekali dalam 1 tahun	5
Tinggi	H Mungkin Sekali (<i>Likely</i>)	-Dampak diharapkan akan terjadi -Dampak akan terjadi pada hampir tiap keadaan -Kejadian sekali dalam 10 tahun	4
Sedang	M Mungkin (<i>Possible</i>)	-Dampak kemungkinan akan terjadi -Dampak pernah terjadi sebelumnya -Dampak akan terjadi pada beberapa keadaan -Kejadian sekali dalam 100 tahun	3
Rendah	L Jarang (<i>Rare</i>)	-Dampak dapat terjadi suatu saat -Dampak pernah terjadi ditempat lain -Kejadian sekali dalam 1000 tahun	2
Sangat Rendah	N Hampir Tidak Mungkin (<i>Improbable</i>)	-Dampak dapat terjadi pada keadaan yang sangat luar biasa -Kejadian serupa pernah terjadi di tempat lain -Hampir tidak mungkin -Kejadian dalam 10.000 tahun	1

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2011

Perkiraan Probabilitas Kegagalan Metode Pohon Kejadian (Event Tree Analysis)

Analisis pohon kejadian (*event tree analysis*) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi hasil dari terjadinya peristiwa yang mungkin terjadi pada suatu sistem akibat dari suatu kejadian awal. Tahapan penyusunan mekanisme kegagalan suatu bendungan merupakan tahapan dalam analisis probabilitas kegagalan metode pohon kejadian yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Probabilitas pada akhir pohon kejadian dihitung berdasarkan probabilitas pada tahap sebelumnya dan akan diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori yaitu, ekstrim (E), tinggi (H), sedang (M), rendah (L) dan normal (N).



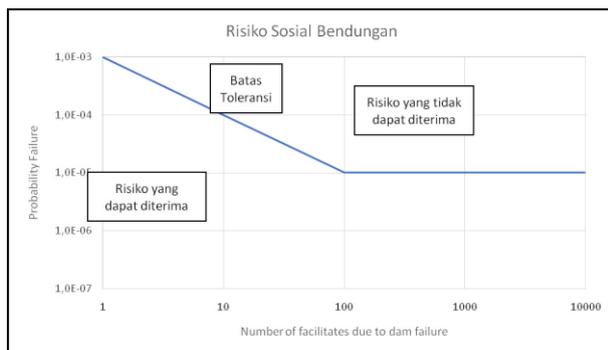
Gambar 2. Diagram mekanisme kegagalan dan tindakan pencegahan pada pohon kejadian
Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2011

Tabel 2 Skema pemetaan probabilitas

Deskripsi Keadaan atau Kejadian	Urutan Penetapan Besaran Probabilitas
Kejadian pasti terjadi	1
Kejadian atau peristiwa teramati dalam data base	0,1
Kejadian atau peristiwa tidak teramati, atau teramati pada suatu kejadian kecil dalam data base yang ada; beberapa potensi skenario kegagalan dapat diidentifikasi	0,01
Kejadian atau peristiwa tidak teramati dalam data base yang ada. Sulit untuk diidentifikasi mengenai adanya skenario kegagalan yang masuk akal, namun satu skenario dapat diidentifikasi setelah dilakukan usaha yang cukup	0,001
Kejadian atau peristiwa belum pernah teramati, dan tidak ada skenario yang masuk akal dapat diidentifikasi, meskipun setelah dilakukan usaha yang cukup	0,0001

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2011

Hasil metode pohon kejadian dan tradisional berupa probabilitas individu dan probabilitas kelompok selanjutnya diplotkan seperti **Gambar 3**.



Gambar 3. Kriteria risiko yang dapat diterima bendungan eksisting

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum, 2011

Penilaian Risiko Metode Modifikasi ICOLD

Menghitung tingkat kepentingan suatu bendungan merupakan tahap awal pada analisis penilaian indeks risiko metode modifikasi ICOLD. Data yang digunakan pada penilaian risiko metode modifikasi ICOLD antara lain volume tampungan waduk, tinggi bendungan, jumlah penduduk yang akan dievakuasi, potensi kerusakan di hilir, dan risiko bisnis akibat keruntuhan bendungan. Dalam metode modifikasi ICOLD identifikasi defisiensi struktur yang dapat menyebabkan kegagalan bendungan dapat dibagi dalam 3 grup besar, yaitu: (1) Stabilitas statik (2) Kapasitas banjir, dan (3) Ketahanan terhadap gempa.

Setelah semua faktor di atas dijumlahkan tahap berikutnya adalah mengklasifikasikan berdasarkan jumlah nilai tersebut. Untuk

bendungan yang memiliki jumlah nilai antara 0–15 termasuk dalam kategori “Low”, 16–45 termasuk dalam kategori “Moderate”, 46–75 termasuk dalam kategori “High”, dan lebih dari 75 termasuk dalam kategori “Extreme” (Indrawan et al., 2013).

METODE

Lokasi Kajian

Bendungan Nglangon terletak di Desa Nglangon, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Grobogan, Provinsi Jawa Tengah. Bendungan Nglangon dibangun pada tahun 1911 sampai dengan tahun 1914, dengan tipe urugan homogen. Bendungan Nglangon membendung Kali Nglangon yang memiliki kapasitas tampungan sebesar 956 ribu m³. Adapun fungsi utama dari Bendungan Nglangon yaitu sumber irigasi yang dapat mengairi persawahan seluas 750 Ha. Bendungan Nglangon merupakan salah satu bendungan dibawah pengawasan BBWS Pemali Juana.

Identifikasi Bahaya

Langkah identifikasi potensi bahaya yang terjadi pada suatu bendungan yang akan dianalisis, yaitu: (1) Pengelompokkan potensi bahaya yang terjadi berdasarkan jenis bangunan pada bendungan, (2) Berdasarkan potensi bahaya tersebut, kemudian mengidentifikasi penyebab suatu kegagalan dan mode kegagalan atau akibat yang akan ditimbulkan dari kegagalan tersebut, dan (3) Identifikasi daftar sisa potensi bahaya untuk dianalisis selanjutnya.

Identifikasi Bentuk Kegagalan Bendungan

Setelah melakukan pengelompokkan potensi bahaya selanjutnya melakukan identifikasi bentuk kegagalan. Bentuk kegagalan ini merupakan sebab dan akibat yang terjadi apabila suatu bendungan mengalami kegagalan. Salah satu metode untuk menganalisis bentuk kegagalan yaitu menggunakan metode FMECA (*Failure Mode, Effects and Critically Analysis*) yang digunakan untuk menentukan urutan prioritas berdasarkan nilai kritis suatu risiko yang ditimbulkan.

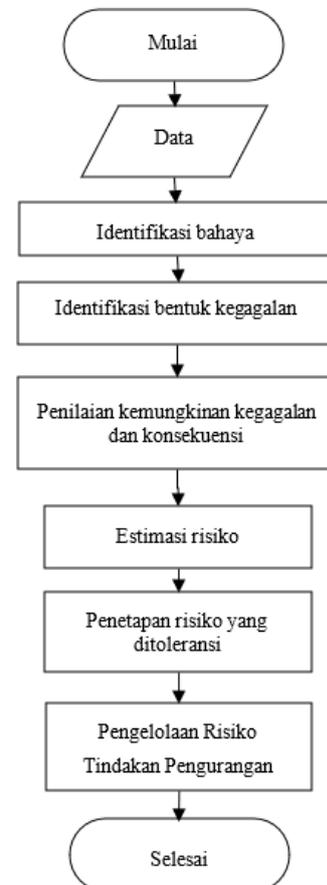
Penilaian Kemungkinan Kegagalan Bendungan

Penilaian kemungkinan kegagalan bendungan berdasarkan probabilitas kegagalan pada penelitian ini menggunakan metode pohon kejadian (*event tree*), metode tradisional dan metode modifikasi ICOLD untuk menghitung indeks risiko.

Hasil Penilaian Risiko

Hasil penilaian risiko berupa rekomendasi pengelolaan risiko yang disertai dengan tindakan pengurangan risiko tersebut

Secara garis besar langkah dalam penilaian risiko dapat dilihat pada bagan alir berikut.



Gambar 4 Bagan alir penilaian risiko

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Bahaya

Berdasarkan pengamatan visual yang telah dilakukan pada kegiatan inspeksi besar tahun 2016 (BBWS Pemali Juana, 2016) didapatkan hasil identifikasi bahaya pada Bendungan Nglangon yang dapat dilihat pada

Tabel 3.

Identifikasi Bentuk Kegagalan

Dari hasil identifikasi bahaya yang diperoleh, masing-masing komponen dianalisis lebih lanjut melalui analisis model kegagalan, kekritisitas dan dampaknya FMECA. Berdasarkan nilai kemungkinan (P), konsekuensi (I), dan keyakinan (C), selanjutnya dilakukan perhitungan nilai kualitatif risiko dan kekritisitas bahaya. Hasil

analisis FMECA dapat dilihat pada **Tabel 4**, dari analisis tersebut terdapat tiga bagian yang merupakan skala prioritas berdasarkan urutannya

(**tabel 5**) yang selanjutnya akan dianalisis lebih lanjut.

Tabel 3 Identifikasi bahaya Bendungan Nglangon

No.	Bagian/Komponen	Kondisi Beban	Identifikasi Sumber Bahaya	Penyebab	Mode Kegagalan
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	Normal	Pada beberapa titik tampak adanya pelapukan rip-rap	Rip-rap yang berasal dari batu gamping, material mudah lapuk terpengaruh cuaca	Dapat mengakibatkan terjadinya longsor akibat tererosinya urugan tanah oleh air waduk
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Normal	Lapisan aspal pada puncak bendungan mengalami kerusakan	Puncak bendungan dilalui kendaraan berat	Bahaya terhadap rembesan di puncak bendungan yang berakibat <i>pipping</i> pada tubuh bendungan
3	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Banjir	Dinding parapet belum memenuhi standar keamanan bendungan	Dinding parapet belum dibangun sepanjang puncak bendungan	Bahaya <i>overtopping</i> pada kondisi PMF
4	Tubuh Bendungan Utama : Lereng hilir	Normal	Terdapat Pohon Asam besar di kaki kanan bendungan	Kurangnya pemeliharaan terhadap vegetasi yang tumbuh pada lereng hilir bendungan	Akar dari Pohon asam dapat mengganggu struktur bendungan
5	Dinding Pelimpah	Normal	Terdapat bocoran pada dinding pelimpah sebelah kiri	Terjadi retakan pada lining dinding	Dinding pelimpah dapat runtuh
6	Kolam Olak	Normal	Banyak sedimen dan rumput liar pada kolam olak dan saluran hilir	Kurangnya pemeliharaan pada kolam olak	Berkurangnya kapasitas saluran hilir pelimpah
7	Waduk	Banjir	Sedimen di waduk cukup tinggi	Besarnya erosi lahan di hulu waduk	Berkurangnya kapasitas tampungan waduk, bahaya terhadap <i>overtopping</i>

Sumber: Hasil penelitian 2022

Tabel 4 Analisis FMECA Bendungan Nglangon

No.	Bagian/Komponen	Kemungkinan (P)	Konsekuensi (I)	Keyakinan (C)	Risiko (R)=(P)x(I)	Kekritisian (Cr)=(R)x(C)
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	4	5	3	20	60
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	4	5	2	20	40
3	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	1	5	1	5	5
4	Tubuh Bendungan Utama : Lereng hilir	3	3	3	9	27
5	Dinding Pelimpah	2	5	1	10	10
6	Kolam Olak	2	2	1	4	4
7	Waduk	3	5	3	15	45

Sumber: Hasil penelitian 2022

Tabel 5 Urutan tingkat risiko dan kekritisian tiap komponen Bendungan Nglangon

No.	Bagian/Komponen	Urutan	
		Risiko	Kekritisian
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	1	1
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	1	3
3	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	5	6

4	Tubuh Bendungan Utama : Lereng hilir	4	4
5	Dinding Pelimpah	3	5
6	Kolam Olak	6	7
7	Waduk	2	2

Sumber: Hasil penelitian 2022

Perkiraan Probabilitas Kegagalan

1. Metode Pohon Kejadian

Hasil identifikasi tingkat risiko dan kekritisian

tiap komponen pada metode FMECA selanjutnya melakukan perkiraan probabilitas dengan menggunakan metode pohon kejadian atau *Event Tree Analysis* (ETA). Ringkasan perkiraan probabilitas metode pohon kejadian dapat dilihat pada

Tabel 6.

2. Metode Tradisional

Selain menggunakan metode pohon kejadian untuk memperkirakan probabilitas kegagalan dapat menggunakan metode tradisional. Berbeda dengan metode pohon kejadian yang mengklasifikasikan probabilitas dari *low* hingga ekstrim, metode tradisional ini tidak ada pengklasifikasian. Hasil analisis metode tradisional dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 6 Probabilitas bahaya metode pohon kejadian Bendungan Nglangon

No	Komponen	Penyebab	Mode Kegagalan	Ekstrim	High	Medium	Low	Normal
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	Rip-rap yang berasal dari batu gamping, material mudah lapuk terpengaruh cuaca	Dam runtuh	4.500E-04	4.950E-02	4.050E-02	5.000E-02	8.596E-01
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Puncak bendungan dilalui kendaraan berat	Dam runtuh	1.108E-07	1.107E-04	0.000E+00	1.889E-05	9.999E-01
3	Waduk	Besarnya erosi lahan di hulu waduk	Dam runtuh	0.000E+00	1.613E-01	7.306E-01	0.000E+00	1.081E-01
Total				4.501E-04	2.109E-01	7.711E-01	5.002E-02	1.968E+00

Sumber: Hasil penelitian 2022

Komponen	Penyebab	Kondisi	Metode Tradisional	Total
Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	Rip-rap yang berasal dari batu gamping, material mudah lapuk terpengaruh cuaca	Normal	Bendungan runtuh 1.00E-01	1.00E-01
			Bendungan tidak runtuh 9.00E-01	9.00E-01
Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Puncak bendungan dilalui kendaraan berat	Normal	Bendungan runtuh 1.00E-01	1.00E-01
			Bendungan tidak runtuh 9.00E-01	9.00E-01
Waduk	Besarnya erosi lahan di hulu waduk	Banjir	Bendungan runtuh 1.00E-03	1.00E-03
			Bendungan tidak runtuh 9.99E-01	9.99E-01

Gambar 5 Probabilitas tiap komponen metode tradisional Bendungan Nglangon

Sumber: Hasil penelitian 2022

3. Metode Modifikasi ICOLD

Dari metode modifikasi ICOLD ini mendapatkan kelas risiko pada satu bendungan yang berguna untuk seberapa urgensinya suatu bendungan dalam perbaikan dan pengawasan. Hasil analisis metode modifikasi ICOLD dapat dilihat pada

Tabel 7.

Tabel 7 Penilaian risiko Bendungan Nglangon metode modifikasi ICOLD

Faktor Pengaruh/Dampak	Kuantitas	Klasifikasi dan Nilai				Nilai Risiko
		ST	T	S	R	
1. Kapasitas Waduk (juta m ³)	0.956	-	-	2	-	2
2. Tinggi Bendungan (m)	21	-	-	2	-	2
3. Penduduk di evakuasi (jumlah orang)	7,395.00	-	8	-	-	8
4. Potensi kerusakan hilir (terhadap struktur yang ada)	Tinggi	-	-	4	-	4
5. Risiko bisnis akibat kegagalan bendungan	Tinggi	-	6	-	-	6
Sub-total (5) :		0	14	8	0	22
6. Pengelolaan keamanan :						
a. Ketersediaan catatan konstruksi dan pemeliharaan	Tinggi	-	0	-	-	0
b. Ketersediaan instrumentasi yang dioperasikan dan catatan pemantauan	Sedang	-	-	1	-	1
c. Tingkat usaha yang dilakukan untuk evaluasi keamanan	Rendah	-	-	-	2	2
d. Perkembangan daerah hilir yang baru atau yang akan datang	Sedang	-	-	2	-	2
Sub-total (6) :		0	0	3	2	5
7. Masalah struktural sehubungan dengan dampak kegagalan bendungan :						
a. Terkait kapasitas pelimpahan banjir	Sedang	-	-	2	-	2
b. Terkait stabilitas statis	Sedang	-	12	-	-	12
c. Terkait ketahanan terhadap gempa	Tinggi	-	8	-	-	8
Sub-total (7) :		0	20	2	0	22
Total						49
Klasifikasi						III (Tinggi)

Sumber: Hasil penelitian 2022

Evaluasi Risiko

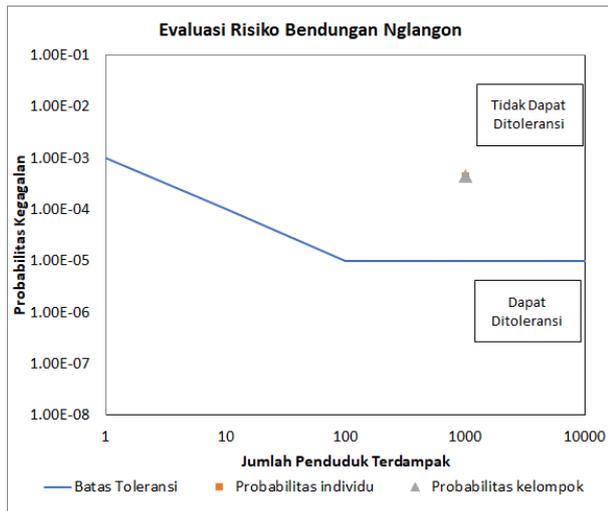
Berdasarkan hasil analisis probabilitas ekstrim individu dan kelompok baik metode tradisional maupun metode *even tree*, nilai probabilitas risiko berada di atas ambang batas nilai risiko yang dapat diterima yaitu sebesar 1.00E-05 yang artinya Bendungan Nglangon memerlukan tindakan lebih lanjut. Hal ini sejalan dengan hasil penilaian risiko metode modifikasi ICOLD dengan klasifikasi III (tinggi) yang artinya Bendungan Nglangon termasuk kedalam bendungan yang memerlukan perhatian khusus dan perbaikan untuk mengurangi tingkat risikonya. Hasil evaluasi metode pohon kejadian dapat dilihat pada **Tabel 8** dan **Gambar 6**, sedangkan hasil evaluasi metode tradisional dapat dilihat pada

Tabel 9 dan Gambar 7.

Tabel 8 Status probabilitas bahaya Bendungan Nglangon metode pohon kejadian

Kriteria	Hasil analisis	Batas	Status
Probabilitas ekstrim individu diambil dari per bagian	4.500E-04	1.00E-05	Tidak memenuhi
Probabilitas ekstrim kelompok diambil dari jumlah ekstrim	4.501E-04	1.00E-05	Tidak memenuhi
Kriteria risiko sosial pada grafik			Tidak memenuhi

Sumber: Hasil penelitian 2022



Gambar 6 Evaluasi risiko Bendungan Nglangon metode pohon kejadian
Sumber: Hasil penelitian 2022

Tabel 9 Status probabilitas bahaya Bendungan Nglangon metode tradisional

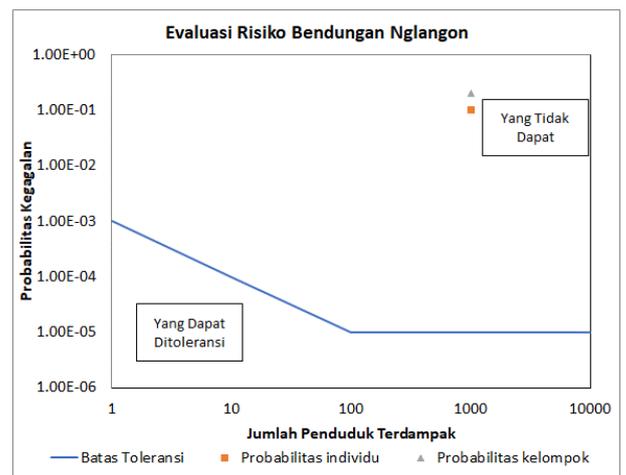
No	Komponen	Penyebab	Probabilitas
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	Rip-rap yang berasal dari batu gamping, material mudah lapuk terpengaruh cuaca	1.00E-01
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Puncak bendungan dilalui kendaraan berat	1.00E-01
3	Waduk	Besarnya erosi lahan di hulu waduk	1.00.E-03

Sumber: Hasil penelitian 2022

Rencana Tindakan Pengurangan Risiko

Beberapa usaha tindakan untuk mengurangi tingkat risiko Bendungan Nglangon yang telah diidentifikasi dan dianalisis sebelumnya disajikan dalam

Tabel 10. Rekomendasi tindakan untuk mengurangi risiko ini berdasarkan skala prioritas yang memerlukan tindakan penanganan sesegera mungkin. Untuk komponen dengan tingkat prioritas sedang dan rendah ditangani sebagai pemeliharaan rutin dalam rangka penyelenggaraan keamanan bendungan (Buldan et al., 2021).



Gambar 7 Evaluasi risiko Bendungan Nglangon metode tradisional
Sumber: Hasil penelitian 2022

Tabel 10 Tindakan pengurangan risiko berdasarkan skala prioritas

No.	Bagian/Komponen	Permasalahan	Probabilitas	Prioritas	Rekomendasi Tindakan
1	Tubuh Bendungan Utama: Lereng Hulu	Pada beberapa titik tampak adanya pelapukan rip-rap	4.500.E-04	Sangat Tinggi	Perlu dengan segera penggantian material rip-rap dengan material tidak mudah lapuk
2	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Lapisan aspal pada puncak bendungan mengalami kerusakan	1.108E-07	Tinggi	Dilakukan pengaspalan kembali dan bila perlu melakukan grotting apabila terdapat rekahan dibawah lapisan aspal
3	Tubuh Bendungan Utama: Puncak	Dinding parapet belum memenuhi standar keamanan bendungan	Tidak Dianalisis	Rendah	Untuk memenuhi kriteria tinggi jagaan maka parapet harus dibangun sepanjang puncak bendungan
4	Tubuh Bendungan Utama : Lereng hilir	Terdapat Pohon Asam besar di kaki kanan bendungan	Tidak Dianalisis	Sedang	Penebangan pohon agar tidak merusak struktur bendungan
5	Dinding Pelimpah	Terdapat bocoran pada dinding pelimpah sebelah kiri	Tidak Dianalisis	Sedang	Lakukan grouting dan pelapisan dinding pelimpah
6	Kolam Olak	Banyak sedimen dan rumput liar pada kolam olak dan saluran hilir	Tidak Dianalisis	Sangat Rendah	Pemeliharaan rutin seperti pembabatan rumput liar
7	Waduk	Sedimen di waduk cukup tinggi	1.613.E-01	Tinggi	Lakukan analisis sedimen dan lakukan kajian pencegahan dan pengurangan sedimen dalam waduk

Sumber: Hasil penelitian 2022

KESIMPULAN

Dari hasil analisis probabilitas ekstrim individu dan kelompok baik metode tradisional maupun metode pohon kejadian, nilai probabilitas risiko berada di atas ambang batas nilai risiko yang dapat diterima yaitu sebesar 1.00E-05 yang artinya Bendungan Nglangon memerlukan tindakan lebih lanjut. Hal ini sejalan dengan hasil penilaian risiko metode modifikasi ICOLD dengan klasifikasi III (tinggi) yang artinya Bendungan Nglangon termasuk kedalam bendungan yang memerlukan perhatian khusus dan perbaikan untuk mengurangi tingkat risikonya.

Beberapa rekomendasi untuk mengurangi tingkat risiko Bendungan Nglangon yang didasari oleh skala prioritas penanganan. Untuk komponen dengan tingkat prioritas sedang dan rendah ditangani sebagai pemeliharaan rutin dalam rangka penyelenggaraan keamanan bendungan

DAFTAR PUSTAKA

- BBWS Pemali Juana. (2016). *Pemeriksaan Besar Bendungan Nglangon*.
 Buldan, R., Suharyanto, S., & Sriyana, S. (2021). Penilaian Risiko Kegagalan Bendungan

Kedungombo Sebagai Dasar Prioritas Pemeliharaan Bendungan. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 557. <https://doi.org/10.24912/jmts.v0i0.12616>

- Firmansyah, R., & Sriyana, I. (2022). Penilaian Risiko Bendungan Saguling Dengan Metode Tradisional, Metode Pohon Kejadian Dan Metode Modifikasi Icold. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 27(1), 76. <https://doi.org/10.32497/wahanats.v27i1.3673>

- Indrawan, D., Tanjung, M. I., & Sadikin, N. (2013). Penilaian Indeks Resiko Metode Modifikasi Andersen dan Modifikasi ICOLDS untuk 12 Bendungan di Pulau Jawa. *Jurnal Sumber Daya Air*, No.2, 93–104.

- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Pedoman Teknis Penilaian Risiko Bendungan*.

- World Bank. (2017). Meningkatkan Keamanan Bendungan dan Perlindungan Masyarakat Umum melalui Rencana Tindak Darurat dan Rencana Kontinjensi Berbasis InaSAFE. *The World Bank Group*.