

## Analisis Risiko Kegagalan Bendungan Paselloreng Dengan Metode Pohon Kejadian (*Event Tree*)

Ricky Zefri\*<sup>1</sup>, Dyah Ari Wulandari<sup>2</sup>, Suripin<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Semarang

Submitted : 05, Juli, 2022;

Accepted: 14, Agustus, 2022

### Abstrak

Bendungan menyimpan bahaya apabila mengalami keruntuhan akibat kegagalan bendungan. Selain pemeriksaan keamanan bendungan, penilaian risiko juga sangat diperlukan guna pengelolaan keamanan bendungan. Pada penelitian ini penilaian risiko menggunakan metode pohon kejadian serta menggunakan metode tradisional. Metode pohon kejadian memiliki keuntungan dalam memetakan potensi keruntuhan bendungan secara sistematis sejak awal dibandingkan dengan metode tradisional yang berkaitan dengan manfaat kriteria yang berlaku. Berdasarkan hasil analisis penilaian risiko, probabilitas kegagalan bendungan yang paling berpengaruh adalah pada komponen bangunan pengambilan dengan nilai  $5,30 \times 10^{-16}$  sementara probabilitas terjadinya risiko kegagalan Bendungan Paselloreng secara keseluruhan dengan metode pohon kejadian sebesar  $15,30 \times 10^{-20}$  dimana syarat dari batas yang dapat diterima untuk bendungan eksisting maksimum  $1,00 \times 10^{-5}$ . Nilai probabilitas risiko Bendungan Paselloreng memenuhi syarat nilai risiko yang dapat diterima.

**Kata Kunci :** Bendungan Paselloreng; Penilaian Risiko; Evaluasi Risiko; Metode Pohon Kejadian; Metode Tradisional

### Abstract

*Dams are in danger of collapsing due to dam failure. In addition to dam safety checks, risk assessment is also very necessary for dam safety management. In this study, the risk assessment uses the event tree method and uses the traditional method. The event tree method has the advantage of systematically mapping the potential for dam failure from the start compared to the traditional method with regard to the merits of the applicable criteria. Based on the results of the risk assessment analysis, the most influential dam failure probability is the intake building component with a value of  $5.30 \times 10^{-16}$  while the probability of the Paselloreng Dam failure risk as a whole using the event tree method is  $15.30 \times 10^{-20}$  where the terms of the acceptable limit for the existing dam maximum  $1.00 \times 10^{-5}$ . The risk probability value of the Paselloreng Dam meets the requirements of an acceptable risk value.*

**Keywords :** *Paselloreng Dam; Risk Assessment; Risk Evaluation; Event Tree Method; Traditional Method*

### A. PENDAHULUAN

Bendungan adalah salah satu infrastruktur sumber daya air yang

memiliki banyak manfaat. Namun, selain manfaat yang besar tentu saja bendungan juga memiliki risiko. Risiko ini akan

\*Corresponding author e-mail : [ricky.zefri@pu.go.id](mailto:ricky.zefri@pu.go.id)  
[Anotherauthor dyahariwulandari@yahoo.com](mailto:Anotherauthor dyahariwulandari@yahoo.com)  
[Anotherauthor suripin.ar@gmail.com](mailto:Anotherauthor suripin.ar@gmail.com)

bertambah dengan semakin tua nya umur bendungan dan juga meningkatnya jumlah penduduk yang tinggal di sekitar bendungan baik di hulu maupun hilir bendungan. Untuk meminimalisir ancaman bencana akibat kegagalan bendungan seperti kerusakan tanggul sehingga perlu dilakukan pemantauan melalui analisis risiko kegagalan bendungan maupun lingkungan sekitar bendungan (BNPB, 2016). Tertuang dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, pasal 40 Ayat 3 yaitu “Setiap kegiatan pembangunan yang mempunyai risiko tinggi yang menimbulkan bencana dilengkapi dengan analisis risiko bencana sebagai bagian dari usaha penanggulangan bencana sesuai dengan kewenangannya”. Penelitian Rath et al. (2019) menganalisis dampak risiko banjir pada desain bendungan dengan memodelkan Bendungan Matatila. Jika bendungan dan waduk bersama-sama tidak memiliki kapasitas hidrolis untuk menahan debit air banjir yang direncanakan, bendungan tersebut tidak aman dan berpotensi menimbulkan risiko kegagalan bendungan dengan pelepasan air banjir yang tidak terkendali dan kerusakan pada manusia dan harta benda. Oleh karena itu, dibutuhkan penilaian risiko bendungan untuk mengetahui risiko bahaya pada bendungan dimana salah satu risikonya adalah banjir bandang disebabkan oleh peristiwa jebolnya bendungan atau waduk (BNPB, 2016).

Untuk keamanan bendungan, penilaian risiko bendungan hakikatnya 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. (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011).

Penilaian risiko merupakan bagian dari proses manajemen risiko dimana terdapat elemen-elemen dalam proses manajemen risiko yang di dalamnya terdapat elemen penilaian risiko. Proses penilaian risiko ini mencakup dua tahapan, yaitu tahap analisis risiko dan tahap evaluasi risiko (Kementerian Pekerjaan Umum RI, 2011), sehingga perlu dilakukan penilaian probabilitas risiko kegagalan komponen bendungan untuk menghitung nilai probabilitas risiko kegagalan Bendungan Paselloreng dan komponen bendungan yang paling berisiko.

Penilaian risiko ini disusun berdasarkan kondisi pada Bendungan Paselloreng yang saat ini sudah terbangun dan beroperasi dengan mengidentifikasi potensi bahaya di bangunan utama dan bangunan pendukung Bendungan Paselloreng. Untuk mendapatkan nilai probabilitas risiko kegagalan bendungan dilakukan berdasarkan pohon kejadian (*event tree*), sehingga didapatkan nilai keamanan *Annual Probability of Failure* (APF).

## B. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Risiko

Segala aktivitas yang dilakukan dalam segala aspek kehidupan tidak pernah lepas dari risiko yang selalu menyertai setiap aktivitas yang dilakukan. Risiko (*risk*) adalah ukuran probabilitas dan keparahan suatu dampak yang merugikan kehidupan, Kesehatan, harta benda atau lingkungan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011) sedang menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) risiko adalah akibat yang kurang menyenangkan (merugikan, membahayakan) dari suatu perbuatan atau tindakan. Risiko dapat didefinisikan sebagai berikut:

- a. Peluang kerugian (*the chance of loss*)

- b. Kemungkinan kerugian (*the possibility of loss*)
- c. Ketidakpastian (*uncertainty*)
- d. Penyimpangan kenyataan dari kesimpulan yang diharapkan (*the dispersion of actual from expected result*)
- e. Probabilitas bahwa hasilnya berbeda dari harapan (*the probability of any outcome different from the one expected*)

Atau, risiko dapat didefinisikan sebagai suatu kondisi yang muncul karena ketidakpastian dengan segala macam konsekuensi yang tidak menguntungkan (Latief et al., 2013).

### 1.1 Analisis Risiko

Analisis risiko adalah metode sistematis untuk memperkirakan seberapa sering peristiwa tertentu dapat terjadi dan besarnya konsekuensi akibat peristiwa yang merugikan, diidentifikasi dan disusun secara logis dan disajikan dalam bentuk gambar (Kementerian PU, 2011).

Tahap-tahap analisis risiko yang dilakukan yaitu (Pramudawati et al., 2020):

- a. Identifikasi bahaya;
- b. Analisis mode keruntuhan;
- c. Perhitungan kemungkinan;
- d. Perkiraan konsekuensi;
- e. Perhitungan risiko.

Tujuan dari analisis manajemen risiko adalah untuk membantu menghindari kegagalan dan memberikan wawasan tentang apa yang terjadi ketika sesuatu tidak berjalan sesuai rencana. Analisis risiko dapat dilakukan baik secara kualitatif, berfokus pada identifikasi dan penilaian risiko, atau secara kuantitatif, berfokus pada penilaian kemungkinan terjadinya risiko, di mana sumber risiko harus diidentifikasi dan akibat (*effect*) harus dinilai atau dianalisis. Menurut *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) analisis risiko kualitatif

adalah proses menilai tingkat dampak dan kemungkinan yang terkait dengan mengidentifikasi risiko. Proses ini memprioritaskan risiko sesuai dengan potensi dampaknya terhadap tujuan proyek yang ingin dicapai. Faktor-faktor yang menjadi masukan dalam melakukan analisis risiko kualitatif adalah rencana pengelolaan risiko, identifikasi risiko, status proyek, jenis proyek, data yang dicari, probabilitas dan skala, pengaruhnya, serta rumusan hipotesis.

Analisis risiko terdiri dari:

- a. Identifikasi bahaya;
- b. Identifikasi model kegagalan;
- c. Metode pohon kejadian (*event tree*) digunakan dalam penentuan nilai risiko.

### 1.2 Manajemen Risiko

Dalam manajemen risiko, manajemen risiko sangat penting. Manajemen risiko adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengendalikan risiko yang mungkin timbul dalam suatu perusahaan atau operasi untuk mencapai efektivitas dan efisiensi yang lebih besar (Darmawi, 2016). Menghindari risiko merupakan hal yang sangat sulit untuk dilakukan, maka dari itu diperlukan adanya manajemen risiko.

Manajemen risiko harus dilakukan sebelum melakukan aktivitas agar risiko dapat diidentifikasi dan kemungkinan yang terjadi dapat ditangani untuk meminimalkan kerugian akibat risiko. Proses manajemen risiko meliputi beberapa langkah, yaitu:

- a. Melakukan pengukuran, analisis dan evaluasi dalam terhadap risiko yang telah diperkirakan;
- b. Melakukan pengambilan keputusan dengan memilih metode;
- c. Menggunakan metode terpilih untuk menangani risiko yang telah diidentifikasi ;
- d. Melakukan penilaian risiko.

## 2. Metode Penilaian Risiko

Terdapat tiga tipe analisis penilaian risiko, yaitu (Kementerian PUPR, 2017):

### a. Analisis Kualitatif

Yaitu analisis menggunakan penjabaran kata, atau deskripsi skala peringkat numerik untuk menggambarkan besarnya potensi konsekuensi dan kemungkinan bahaya yang akan terjadi

### b. Analisis semi-kualitatif

Yaitu analisisnya menggunakan ukuran kualitatif dengan memberikan angka, tetapi tidak serta merta menghasilkan hubungan yang pasti antara besaran dan/atau kemungkinan hasil.

### c. Analisis kuantitatif

Yaitu analisis menggunakan nilai numerik sebagai hasil dan dengan tujuan probabilitas untuk secara akurat mencerminkan besarnya hasil dari kemungkinan terjadi.

### 2.1 FMECA (*Failure Mode Effects and Criticality Analysis*)

Metode FMECA merupakan pengembangan dari metode FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) dengan membuat peringkat kualitatif model-model kegagalan sesuai dengan kemungkinan dan keparahan dampak atau konsekuensinya terhadap bentuk sistem. FMECA menggunakan metode semi kuantitatif yang merupakan metode evaluasi atau perancangan komponen sistem dengan melihat potensi mode kegagalan untuk mengetahui dampak yang akan terjadi pada komponen atau sistem yang di servis. Setiap kemungkinan mode kegagalan diklasifikasikan menurut dampaknya terhadap keberhasilan sistem atau pada keselamatan pengguna dan peralatan, sehingga probabilitas keadaan kritis dapat ditentukan, bagian terpenting dari komponen (Kementerian PU, 2011).

Keuntungan metode FMECA ini adalah mendapatkan risiko yang fokus

mengenai fungsi dan hubungan interaksi dari suatu sistem, dengan analisa yang dilakukan secara sistematis dengan hubungan sebab dan akibat. Selain itu kelebihan dari metode semi kuantitatif yaitu tingkat keakuratannya lebih baik dibandingkan dengan metode kualitatif, selain itu metode ini juga mempunyai kelebihan yaitu lebih mudah dan cepat dari metode kuantitatif.

Penerapan metode FMEA dan FMECA adalah (Kementerian PU, 2011):

d. Analisis risiko yang digunakan untuk mengidentifikasi model kegagalan yang signifikan yang memerlukan analisis rinci dengan menggunakan pohon kejadian (*event tree analysis*).

e. Identifikasi peluang untuk melakukan intervensi dimana dengan intervensi tersebut dapat menahan proses kegagalan untuk mencegah terjadinya kegagalan pada sistem.

f. Identifikasi pengaruh fungsional (pada batas-batas sistem) model-model kegagalan.

g. Analisis risiko tingkat portofolio dimana diperlukan peringkat model-model kegagalan dan bendungan berkaitan dengan potensi keamanan bendungan.

h. Penetapan kebutuhan pengamatan untuk bendungan yang potensi model kegagalannya diidentifikasi memerlukan pemantauan, atau yang pemantauannya belum diidentifikasi.

i. Identifikasi potensi model kegagalan yang belum dipertimbangkan pada waktu desain, yang kemudian dapat dilakukan desain ulang pada sistem dengan menggunakan pedoman dan metode desain terbaru. Hal ini juga dapat dijadikan sebagai catatan lengkap untuk asumsi desain.

### 2.2 Analisis Pohon Kejadian (*Event Tree Analysis*)

Menurut *Indonesia Risk Management* (2022), *Event Tree Analysis* atau ETA adalah salah satu analisis untuk

menyajikan serangkaian kejadian yang saling eksklusif dimulai dengan kejadian risiko awal (*initial event*) sesuai dengan jalannya atau tidak bekerjanya sistem yang dirancang untuk menangani kejadian tersebut. Tujuan dari teknik ETA adalah untuk menentukan apakah suatu kejadian dapat dikendalikan oleh sistem dan prosedur keselamatan yang dirancang dan diterapkan dalam sistem tersebut, atau apakah kejadian yang akan berkembang menjadi kecelakaan serius.

Dalam penerapannya, selain untuk menilai apakah peristiwa risiko dapat dikendalikan, teknologi ETA juga dapat digunakan untuk memodelkan peristiwa risiko terbalik. Dengan kata lain, teknologi ETA mampu menyimulasikan tidak hanya kejadian ancaman, tetapi juga peluang. Saat memodelkan peristiwa risiko terbalik, teknik ETA menentukan apakah peluang ini dapat diwujudkan melalui penggunaan perawatan atau strategi yang direncanakan. Perawatan atau strategi untuk menangani peristiwa risiko dapat bersifat protektif atau preventif.

Teknik ETA umumnya dapat digunakan untuk melakukan penilaian risiko selama tahap identifikasi dan analisis risiko, terutama untuk menentukan besarnya dampak risiko. Metode ETA memiliki logika matematika yang sama dengan metode FTA (*Fault Tree Analysis*). Perbedaan antara kedua metode tersebut adalah pada outputnya, dan metode FTA berfokus pada event atau kejadian yang dapat memicu terjadinya *spike event*/kejadian risiko besar. Teknik ETA, di sisi lain, fokus pada dampak potensial dari suatu peristiwa, atau memprediksi peristiwa di masa depan untuk sistem yang dirancang untuk menangani fitur atau malfungsi peristiwa. Secara umum, langkah-langkah menggunakan *event tree analysis* adalah:

- 1) Pertama tentukan peristiwa risiko (*initial event*)

- 2) Tentukan skenario suatu *event*;
- 3) Tentukan tingkat kemungkinan berhasilnya dan gagalnya suatu penanganan;
- 4) Tentukan tingkat dampak risiko apabila suatu skenario terjadi;
- 5) Lakukan evaluasi dan berikan rekomendasi teknis.

## C. METODE PENELITIAN

### 1. Lokasi

Bendungan Paselloreng berada dalam DAS Gilireng seluas 169 Km<sup>2</sup> terletak di Kecamatan Gilireng, sejauh ±45 km dari Kota Sengkang Kabupaten Wajo, Propinsi Sulawesi Selatan. Secara Geografis terletak pada titik koordinat 3°53'2,69"S dan 120°10'54,08"E yang berbatasan dengan:

- a. Sebelah Utara : DAS Kulampu
- b. Sebelah Barat : DAS Bila Walanae
- c. Sebelah Timur : DAS Kulampu
- d. Sebelah Selatan : DAS Raddah

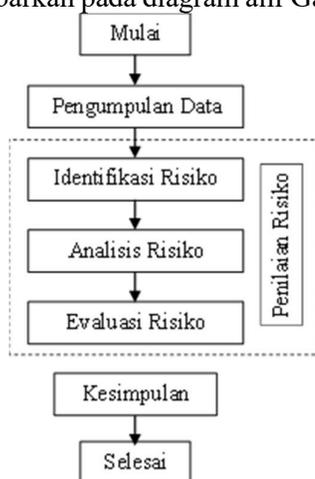
### 2. Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Pompengan Jenebarang. Data sekunder tersebut berupa data pelaksanaan proyek pembangunan Bendungan Paselloreng. Data-data yang digunakan dalam penilaian risiko ini adalah sebagai berikut :

- a. Perencanaan Bendungan Paselloreng yaitu data geologi teknik, data mekanika tanah, dan data hidrologi;
- b. Foto-foto dokumentasi pelaksanaan konstruksi;
- c. Data pemeriksaan visual bendungan dan bangunan pelengkapanya
- d. Gambar *As-built drawing*;
- e. Data perubahan desain bendungan dari desain awal;
- f. Data pemantauan dan pemeriksaan bendungan yaitu data kondisi bendungan, data hidrologi dan data operasi waduk;

### 3. Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan dalam analisis risiko ini yaitu metode pohon kejadian (*event tree*). Tahapan analisis risiko pada laporan ini dimulai dengan pengumpulan data setiap komponen bendungan, kemudian dilakukan identifikasi risiko terhadap kemungkinan yang akan terjadi. Setelah itu dilakukan analisis risiko yang kemudian hasil analisis tersebut dievaluasi untuk mengetahui apakah bendungan tersebut memenuhi untuk keamanannya. Adapun bagan alir tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

Estimasi probabilitas untuk variabel risiko kegagalan untuk memberikan penilaian probabilitas kegagalan bendungan pada kondisi operasi normal dan pada kondisi pembebanan tertentu (misalnya banjir atau gempa bumi). Penilaian probabilitas risiko kegagalan bendungan dilakukan dengan menggunakan metode tradisional dan metode pohon kejadian untuk menghitung indeks risiko.

Perkiraan besarnya dampak atau konsekuensi dari kegagalan bendungan (runtuh), dengan mempertimbangkan karakteristik dataran banjir di bagian hilir, keselamatan jiwa dan kerugian ekonomi. Besarnya kemungkinan risiko gagalnya bendungan diestimasi

berdasarkan penilaian terhadap perkiraan kemungkinan gagalnya bendungan dan akibat dari kegagalannya.

### 4. Metode Analisis

Tahapan-tahapan dari identifikasi bahaya adalah:

- Pembuatan daftar semua potensi bahaya yang akan bisa terjadi dan dapat menyebabkan keruntuhan bendungan.
- Kemudian dilakukan identifikasi bahaya-bahaya yang dapat dikeluarkan dari daftar untuk tidak dianalisis selanjutnya karena risiko yang ditimbulkan bahaya-bahaya tersebut dengan pasti dapat diabaikan.
- Pembuatan daftar sisa potensi bahaya untuk dianalisis selanjutnya.

Berdasarkan Pedoman Analisis Risiko, perkiraan probabilitas kegagalan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu metode tradisional dan metode pohon kejadian (*event tree*). Metode tradisional adalah salah satu pendekatan tradisional untuk rekayasa teknik bendungan, dimana risiko dikendalikan dengan mengikuti peraturan yang telah ditetapkan untuk perencanaan keadaan dan pembebanan, kapasitas struktur, koefisien keamanan dan langkah-langkah dalam desain yaitu:

- Identifikasi bahaya;
- Identifikasi model kegagalan;
- Penetapan nilai risiko.

Sedangkan proses penyelesaian dengan metode pohon kejadian (*event tree*) adalah:

- Penentuan tipe, tingkat dan tahap penilaian risiko;
- Proses penilaian risiko yang meliputi analisis dan evaluasi risiko

Analisis risiko terdiri dari:

- Identifikasi bahaya;
- Identifikasi model kegagalan;
- Penetapan nilai risiko menggunakan pohon kejadian.

Kegiatan evaluasi risiko terdiri dari:

- a) Menghitung nilai *Annual Probability of Failure* (APF) sebagai hasil kalibrasi dan verifikasi berdasarkan kriteria risiko bendungan eksisting.
- b) Penentuan risiko yang dapat ditoleransi berdasarkan grafik kriteria risiko sosial yang disarankan untuk bendungan eksisting.

Nilai kualitatif risiko yang merupakan hasil perkalian antara kemungkinan dan konsekuensi disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

**Tabel 1.** Nilai Risiko

Risiko (R) = (P) x (I)						
Konsekuensi (I)	Kemungkinan (P)					
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	
	1	2	3	4	5	
<b>Sangat Tinggi</b>	5	5	10	15	20	25
<b>Tinggi</b>	4	4	8	12	16	20
<b>Sedang</b>	3	3	6	9	12	15
<b>Rendah</b>	2	2	4	6	8	10
<b>Sangat Rendah</b>	1	1	2	3	4	5

(Sumber: Kementerian PU, 2021)

**Tabel 2.** Kriteria Risiko

Nilai Risiko	Kriteria Risiko	Penilaian Risiko	Tanggapan / Response
17 – 25	Risiko Sangat Tinggi	Tidak Ada Toleransi	Tidak dapat diterima
13 – 16	Risiko Tinggi	Tidak Ada Toleransi	Tidak dapat diterima
9 – 12	Risiko Sedang	Penting	Perlu perhatian dini
5 – 8	Risiko Rendah	Dapat Toleransi	Perlu perhatian reguler
1 - 4	Risiko Sangat Rendah	Tidak Berarti	Perlu dimonitor

(Sumber: Kementerian PU, 2021)

Dalam menerapkan metode ini, hal penting yang perlu dimiliki para analis adalah pemahaman menyeluruh mengenai sistem dalam melakukan analisis. Berdasarkan Pedoman Analisis Risiko untuk memperkirakan probabilitas reaksi/respons apabila tidak ada dasar (yaitu informasi statistik yang memadai),

maka dapat dipakai deskripsi angka probabilitas atau “*verbal descriptors*” seperti Tabel 3.

**Tabel 3.** Deskripsi Verbal

No.	Deskripsi	Probabilitas
1	Pasti ( <i>Virtually Certain</i> )	0,999
2	Sangat Mungkin ( <i>very Likely</i> )	0,99
3	Mungkin ( <i>Likely</i> )	0,9
4	Sedang ( <i>Neutral</i> )	0,5
5	Tidak Mungkin ( <i>Unlikely</i> )	0,1
6	Sangat Tidak Mungkin ( <i>Very Unlikely</i> )	0,01
7	Mustahil ( <i>Virtually Impossible</i> )	0,001

(Sumber: Kementerian PU, 2021)

## 5. Potensi Bahaya

Potensi-potensi bahaya yang dapat terjadi dari kegagalan bendungan:

- a. Pada tubuh bendungan terdapat potensi bahaya longsor dan erosi yang mengakibatkan deformasi sehingga tinggi tubuh bendungan turun dari batas ijin desain dapat menyebabkan bendungan runtuh.
- b. Pada bangunan pelimpah (*spillway*) dilakukan identifikasi potensi bahaya yang dapat terjadi yaitu kavitas yang menyebabkan erosi pada bagian kolam olah.
- c. Pada bangunan pengambilan dilakukan identifikasi bahaya adalah kinerja peralatan hidromekanik ditinjau dari pemeriksaan visual dan uji coba peralatan terhadap adanya kemungkinan terjadinya kebocoran akibat korosi.
- d. Pada tampungan waduk terdapat potensi pendangkalan waduk akibat sedimentasi, pemantauan dilakukan secara visual dengan mengamati tinggi muka air waduk terhadap kemungkinan terjadinya penurunan kualitas air dan umur waduk.

## D. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Identifikasi Bahaya

Identifikasi potensi bahaya Bendungan Paselloreng didasarkan pada:

1. Dokumen-dokumen studi terdahulu. (Kementerian PUPR, 2001, 2019, 2020, 2021)
2. Diskusi terkait informasi teknis, kebijakan dan manajemen bendungan.
3. Observasi atau pengamatan kondisi fisik lapangan.

Hasil identifikasi bahaya Bendungan Paselloreng dapat dilihat pada Tabel 4, sedangkan hasil analisis FMECA dapat dilihat pada Tabel 5 dan urutan tingkat risiko dan kekritisan komponen Bendungan Paselloreng dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 4.** Identifikasi Bahaya Bendungan Paselloreng

No.	Komponen	Keadaan Pembebanan	Potensi Bahaya	Penyebab	Mode Kegagalan	Keterangan
1	Tubuh bendungan (puncak)	Keadaan Normal	Aman	Puncak bendungan diberi perkerasan aspal	Aman	Kondisi masih baik, tidak dikhawatirkan terjadi deformasi.
2	Tubuh bendungan (lereng hulu)	Keadaan Normal	Aman	Lereng hulu diberi perkuatan riprap.	Aman	Kondisi masih baik, tidak dikhawatirkan terjadi deformasi.
3	Tubuh bendungan (lereng hilir)	Keadaan Normal	Aman	Lereng hilir yang menggunakan gebalan rumput.	Aman	Kondisi masih baik, tidak dikhawatirkan terjadi deformasi.
4	<i>Spillway</i>	Keadaan Normal	Aman	Struktur beton masih baik	Aman	Kondisi masih baik, tidak dikhawatirkan terjadi keruntuhan
5	Bangunan pengambilan	Keadaan Normal	Aman	Terdapat kerusakan rumah <i>intake</i>	Pintu <i>intake</i> akan korosi karena rumah <i>intake</i> rusak	
6	Waduk	Keadaan Normal	Aman	Terdapat sedikit sedimentasi	Sedimentasi pada waduk berpengaruh pada kualitas airnya dan menurunnya usia guna waduk	

Identifikasi bahaya yang didapat pada Tabel 4 adalah hasil pengamatan masing-masing komponen yang dianalisis lebih lanjut dengan analisis model kegagalan, kekritisan dan dampaknya (*failure mode, effects and critically analysis/FMECA*). Dari hasil identifikasi bahaya diketahui bahwa komponen tubuh bendungan untuk bagian puncak, lereng hulu dan lereng hilir masih dalam kondisi baik sehingga potensi bahaya dan mode kegagalannya masuk ke dalam kategori aman karena desain tubuh bendungan juga

dikondisikan untuk kondisi banjir PMF. Oleh karena itu komponen tubuh bendungan tidak dilakukan analisis lebih lanjut untuk perkiraan probabilitas kegagalannya.

Untuk komponen *spillway*, bangunan pengambilan dan waduk perlu perhatian khusus karena terdapat kemungkinan untuk terjadinya kegagalan mengingat komponen tersebut adalah komponen utama dalam pengoperasian bendungan, dilakukan analisis lebih lanjut untuk perkiraan probabilitas kegagalannya.

**Tabel 5.** Hasil Analisis FMECA Bendungan Paselloreng

No.	Komponen	Kondisi Beban	Potensi Bahaya	Penyebab	Mode Kegagalan	Kemungkinan (P)	Konsekuensi (I)	Keyakinan (C)	Risiko (R) = P x I	Kekritisn (Cr) = R x C
1	Tubuh bendungan (puncak)	Keadaan Normal	Aman	Puncak bendungan diberi perkerasan aspal	Aman	1	5	5	5	25
2	Tubuh bendungan (lereng hulu)	Keadaan Normal	Aman	Lereng hulu diberi perkuatan riprap.	Aman	1	5	5	5	25
3	Tubuh bendungan (lereng hilir)	Keadaan Normal	Aman	Lereng hilir yang menggunakan gebalan rumput.	Aman	1	5	5	5	25
4	Spillway	Keadaan Normal	Aman	Struktur beton masih baik	Aman	1	5	4	5	20
5	Bangunan pengambilan	Keadaan Normal	Aman	Terdapat kerusakan rumah intake	Pintu intake akan korosi karena rumah intake rusak	2	5	4	10	40
6	Waduk	Keadaan Normal	Aman	Terdapat sedikit sedimentasi	Sedimentasi pada waduk berpengaruh pada kualitas airnya dan menurunnya usia guna waduk	2	4	3	8	24

**Tabel 6.** Urutan Tingkat Risiko dan Kekritisn Komponen Bendungan Paselloreng

No.	Komponen	Risiko	Kekritisn	Tindakan
1	Tubuh bendungan (puncak)	5	25	Tidak Dianalisis
2	Tubuh bendungan (lereng hulu)	5	25	Tidak Dianalisis
3	Tubuh bendungan (lereng hilir)	5	25	Tidak Dianalisis
4	Spillway	5	20	Dianalisis
5	Pintu Intake	10	40	Dianalisis
6	Waduk	8	24	Dianalisis

## 2. Perkiraan Probabilitas

### Kegagalan

#### a. Metode Pohon Kejadian (*Event Tree*)

Menurut pedoman, tidak ada cara praktis untuk menghitung besarnya probabilitas total dari model beberapa kasus kegagalan. Yang dapat dihitung adalah besarnya batas atas dan batas bawah untuk memperkirakan probabilitas total dari beberapa mode

kegagalan. Besarnya probabilitas batas atas untuk menggabungkan beberapa kejadian model kegagalan diperkirakan dengan rumus *de Morgan*. Besarnya probabilitas batas bawah adalah nilai maksimum dari probabilitas mode kegagalan tunggal. Tabel 7 memberikan ringkasan konsekuensi probabilitistik dari setiap mode kegagalan individu yang diperoleh dari ETA.

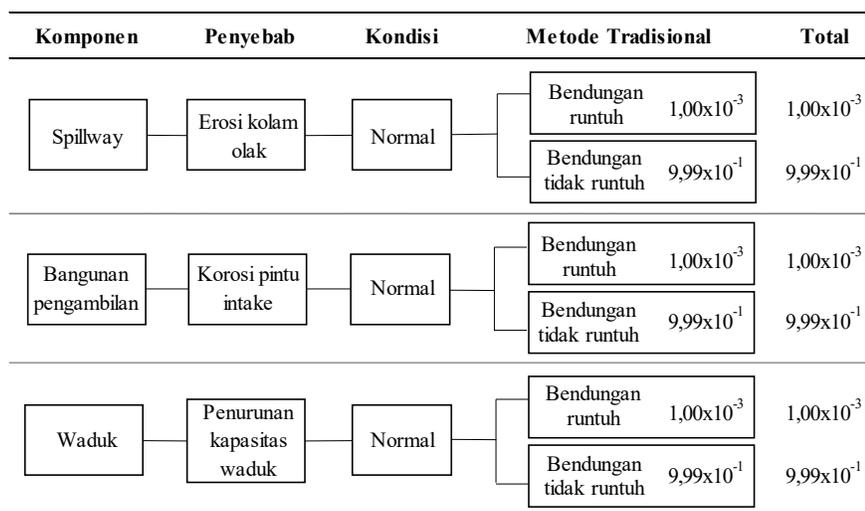
**Tabel 7.** Ringkasan Probabilitas Bahaya Bendungan Paselloreng

No.	Komponen	Penyebab	Ekstrim	High	Medium	Low	Normal
1.	Spillway	Erosi kolam olak	$9,70 \times 10^{-20}$	-	-	$1,98 \times 10^{-20}$	$9,91 \times 10^{-01}$
2.	Bangunan pengambilan	Korosi pintu intake	$5,30 \times 10^{-16}$	-	-	$9,99 \times 10^{-04}$	$9,90 \times 10^{-01}$
3.	Waduk	Penurunan kapasitas waduk	$9,90 \times 10^{-20}$	-	$1,01 \times 10^{-17}$	$9,90 \times 10^{-08}$	$9,91 \times 10^{-01}$

**b. Metode Tradisional**

Metode analisis risiko Bendungan Paselloreng juga dilakukan menurut metode tradisional dengan menentukan pola dan probabilitas keruntuhan. Hasil

dari analisis Bendungan Paselloreng dengan metode tradisional ditunjukkan pada bagan alir Gambar 2. Probabilitas bahaya analisis tradisional Bendungan Paselloreng dijelaskan pada Tabel 8.



**Gambar 2.** Hasil Analisis Metode Tradisional Bendungan Paselloreng

**Tabel 8.** Ringkasan Probabilitas Bahaya Bendungan Paselloreng

No.	Komponen	Penyebab	Probabilitas
1.	Spillway	Erosi kolam olak	$1,00 \times 10^{-3}$
2.	Bangunan pengambilan	Korosi pintu intake	$1,00 \times 10^{-3}$
3.	Waduk	Penurunan kapasitas waduk	$1,00 \times 10^{-3}$

Pada metode tradisional langsung didapatkan probabilitas kegagalan bendungan untuk setiap komponen yaitu  $1,00 \times 10^{-3}$  tanpa urutan kejadian seperti pada metode pohon kejadian dan tidak di

kalibrasi dengan menghitung nilai *Annual Probability of Failure* (APF).

**c. Evaluasi Risiko**

Peluang kegagalan tahunan atau *Annual Probability of Failure* (APF)

diperoleh dengan menjumlahkan semua probabilitas potensi bahaya yang diidentifikasi pada komponen bendungan.

$$APF = \sum APF_i$$

Diketahui:

$$APF_{spillway} = 9,70 \times 10^{-20}$$

$$APF_{bangunan\ pengambilan} = 5,30 \times 10^{-16}$$

$$APF_{waduk} = 9,90 \times 10^{-20}$$

Sehingga APF total diperoleh:

$$APF = 9,7 \times 10^{-20} + 5,3 \times 10^{-16} + 9,9 \times 10^{-20} \\ = 15,3 \times 10^{-16} < 1 \times 10^{-5}$$

Untuk nilai probabilitas risiko di bawah  $1 \times 10^{-5}$  termasuk dalam kategori dapat diterima (*acceptable risk*).

Secara nilai probabilitas risiko kegagalan Bendungan Paselloreng dalam setiap 1 (satu) tahunnya adalah bisa diterima (*acceptable risk*) karena nilainya lebih kecil dari nilai APF yang dipersyaratkan yaitu  $1 \times 10^{-5}$  (Kementerian PU, 2011).

Menurut hasil analisis probabilitas nilai ekstrim individu dan hasil analisis probabilitas kelompok metode pohon kejadian, nilai probabilitas risiko bendungan Paselloreng berada pada nilai risiko yang dapat diterima. Perbandingan dan pemetaan nilai probabilitas ekstrim individu dan nilai grafis probabilitas kelompok dengan nilai batas metode event tree dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Status Probabilitas Bahaya Bendungan Paselloreng Metode Pohon Kejadian

Kriteria	Hasil Analisis	Batas	Status
Probabilitas ekstrim individu diambil dari per bagian	$5,30 \times 10^{-16}$	$1 \times 10^{-5}$	Memenuhi
Probabilitas ekstrim kelompok diambil dari jumlah ekstrim	$5,30 \times 10^{-16}$	$1 \times 10^{-5}$	Memenuhi
Kriteria risiko sosial pada grafik	-	-	Memenuhi

## E. KESIMPULAN

Mengacu pada rumusan masalah, diperoleh kesimpulan nilai probabilitas risiko kegagalan pada Bendungan Paselloreng berdasarkan pohon kejadian (*event tree*) adalah:

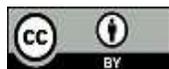
- Bahaya pada spillway sebesar  $9,70 \times 10^{-20}$  (dapat diterima).
- Bahaya pada bangunan pengambilan sebesar  $5,30 \times 10^{-16}$  (dapat diterima).
- Bahaya pada waduk sebesar  $9,90 \times 10^{-20}$  (dapat diterima).

Maka dapat disimpulkan bahwa dari hasil penilaian risiko Bendungan Paselloreng adalah penilaian risiko dengan menggunakan metode pohon kejadian menunjukkan risiko Bendungan Paselloreng dapat diterima (*acceptable risk*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Nasional Penanganan Bencana. (2016). *Risiko Bencana Indonesia*. Jakarta.
- BBWS Pompengan Jenebarang. (2020). *Pemantauan dan Kajian OP Bendungan Paselloreng Pasca Impounding*. Kementerian PUPR. Makassar.
- BBWS Pompengan Jenerang. (2021). *Pemantauan dan Kajian OP Bendungan Paselloreng Tahap I*. Kementerian PUPR. Makassar.
- BBWS Pompengan Jenerang. (2019). *Laporan Supervisi Pembangunan Bendungan Paselloreng*. Kementerian PUPR. Makassar.
- Darmawi, Herman. (2006). *Manajemen Risiko*. Cetakan Kesepuluh. Jakarta: Bumi Aksara.
- Godfrey, P.S., Sir William Halcrow and Partners Ltd. (1996). *Control of Risk A Guide to Systematic Management of Risk from Construction*. Wesminster London: Construction Industry Research and Information

- Association(CIRIA). Crouhy M, Galai D Mark R. 2001. Risk Managemen. USA: McGraw Hill.
- Kementerian Pekerjaan Umum RI. (2011). *Pedoman Teknis Penilaian Risiko Bendungan*.
- Latief, Y., Suraji, A., Nugroho, Y. S., & Arifuddin, R. (2013). *a Comparative Study of Accident Risk Factors in Construction Project in Indonesia*. Eppm, 151–162.
- Nippon Koei. (2001). *Penyiapan Detail Desain Bendungan Paselloreng*. Departemen PU. Jakarta.
- Pramudawati, M. A. H., Tanjung, M. I., & Ghafara, R. (2020). Penilaian Risiko Keamanan Bendungan Di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(2), 93–102. <https://doi.org/10.32679/jth.v11i2.631>
- Undang-undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana, Pub. L. No. 24, 7 213. (2007).
- Voughan, Emmett J. & Elliot, Curtis H. (1978). *Fundamental of risk and insurance*



© 2022 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)