

PENILAIAN RISIKO BENDUNGAN SAGULING DENGAN METODE TRADISIONAL, METODE POHON KEJADIAN DAN METODE MODIFIKASI ICOLD

Riksal Firmansyah^{1,*}, Ignatius Sriyana²

¹⁾*Balai P2JK Wilayah Sulawesi Selatan, Kementerian PUPR
Jl. Batara Bira No.36, Baddoka, Makassar, Indonesia 90243*

²⁾*Profesor Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. H. Soedarto, S.H., Tembalang, Kota Semarang 50275*

^{*)}*Email : riksalfs@gmail.com*

Abstract

The role of dam infrastructure must be ensured from management and maintenance through good operational and maintenance provisions as to maintain level of service provision, extend life of productive assets and reduce risk of dam failure. Dam risk assessment can be used to prioritize dams based on risks. Risk assessment consists of risk analysis and risk evaluation. Purpose of this study is to conduct a risk assessment on Saguling Dam using traditional methods, event tree methods and ICOLD modification method to get an overview safety condition Saguling Dam. In conducting risk evaluation for ICOLD modification method, evaluate by comparing value of risk index to risk class. results of the risk identification analysis of this study that risk assessment using traditional method shows that risk of the Saguling Dam is unacceptable because this method does not describe each possibility in detail. Risk assessment using the event tree method shows that the risk of the Saguling Dam is acceptable. Risk assessment using the modified ICOLD method shows that the Saguling Dam belongs to category of Dam with moderate risk.

Kata kunci : *saguling dam, risk assessment, traditional method, event tree method, ICOLD method*

PENDAHULUAN

Kegiatan pembangunan dan pengelolaan bendungan untuk mencegah kegagalan bendungan dilaksanakan berdasarkan pada konsepsi keamanan bendungan dan kaidah-kaidah keamanan bendungan yang tertuang dalam berbagai aturan, standar, pedoman dan manual yang berlaku (Andersen et al., 2001). Peran vital infrastruktur bendungan bagi keamanan ekonomi harus dijamin oleh pengelolaan dan pemeliharaan melalui

ketentuan operasional dan perawatan yang baik sehingga mampu mempertahankan tingkat penyediaan layanan, memperpanjang masa hidup aset produktif dan menjaga resiko kegagalan bendungan pada tingkat yang bisa diterima dengan menjaga stabilitas struktur selama masa hidupnya (Bank Dunia, 2018). Salah satu permasalahan dalam pemeliharaan bendungan-bendungan di Indonesia adalah ketersediaan anggaran (Soentoro et al., 2013).

Menurut Kementerian PUPR (2015), Konsepsi Keamanan Bendungan terdiri dari tiga pilar, yaitu: 1) keamanan struktur (aman terhadap kegagalan struktural, aman terhadap kegagalan hidraulis, dan aman terhadap kegagalan rembesan); 2) operasi, pemeliharaan, dan pemantauan; dan 3) kesiapsiagaan tindak darurat. Penilaian risiko pada bendungan yang sudah terbangun atau yang beroperasi bertujuan untuk menentukan prioritas atau peringkat pekerjaan perbaikan atau rehabilitasi yang diperlukan guna meningkatkan keamanan berdasarkan risiko yang ada pada bendungan tersebut (Pramudawati et al., 2020). Penilaian risiko bendungan merupakan suatu proses dimana keputusan dibuat apakah tingkat risiko yang ada ditimbulkan oleh bendungan masih dapat ditoleransi atau perlu dikurangi (Brown dan Gosden, 2004).

Menurut Ditjen SDA (2011), perkiraan probabilitas kegagalan dapat menggunakan dua metode yaitu metode tradisional dan metode pohon kejadian. Metode tradisional menentukan probabilitas kegagalan berdasarkan hasil analisis keamanan bendungan yang telah dibandingkan dengan kriteria keamanan bendungan. Metode pohon kejadian menentukan probabilitas kegagalan dengan menyusun tahapan mekanisme kegagalan bendungan. Metode tradisional merupakan pengembangan dari pendekatan rekayasa teknik bendungan dimana risiko dikendalikan dengan mengikuti kriteria keamanan bendungan. Selain kedua metode tersebut, terdapat metode ICOLD

(*International Committee on Large Dam*) untuk menentukan kelas risiko bendungan. Pada metode ICOLD parameter yang digunakan dalam menentukan kelas risiko bendungan berasal dari nilai-nilai yang diinput dari tiap komponennya. Nilai-nilai tersebut kemudian dijumlahkan sebagai hasil skor akhir nilai risiko yang sudah dikategorikan kelas risikonya (Yuliningtyas et al., 2016).

Indrawan (2013) melakukan penilaian indeks risiko metode modifikasi ICOLD untuk 12 bendungan di pulau Jawa diketahui bahwa 12 bendungan pada studi tersebut termasuk kelas risiko tinggi. Buldan (2021) melakukan penilaian risiko menggunakan metode tradisional dan metode pohon kejadian pada Bendungan Kedungombo menunjukkan hasil penilaian risiko yang tidak dapat diterima namun diperlukan upaya perbaikan guna meminimalisir dampak terjadinya kegagalan. Kajian ini bertujuan untuk membandingkan hasil penilaian risiko bendungan dengan menggunakan metode tradisional, metode pohon kejadian dan metode modifikasi ICOLD.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dari bulan Juni hingga November 2017 berlokasi di Bendungan Saguling, Kabupaten Bandung Barat Provinsi Jawa Barat. Waduk Saguling dibangun pada tahun 1980 sampai 1986 dan membendung Sungai Citarum dengan Luas Daerah Aliran Sungai 2.283 km². Selama penelitian, alat yang digunakan antara

lain meteran, instrumentasi geoteknik v-notch dan parameter seismisitas, kamera digital, alat tulis, dan seperangkat komputer yang dilengkapi dengan *Autocad*, *Ms.Word* dan *Ms.*

Excel. Bahan penelitian yang digunakan berupa data primer, peta topografi skala 1:25.000 dan peta zona gempa Indonesia tahun 2017.

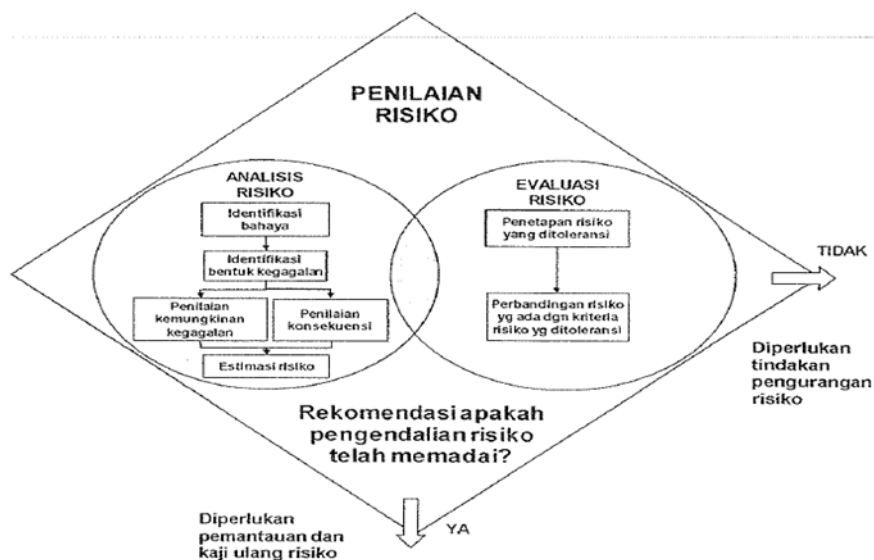


Gambar 1. Lokasi Waduk Saguling (BBWS Citarum, 2012)

Penilaian Risiko

Penilaian risiko adalah tahapan untuk mencapai kesimpulan terkait risiko yang dimiliki suatu bendungan masih

dapat diterima atau tidak. Penilaian risiko terdiri atas analisis risiko dan evaluasi risiko (Ditjen SDA, 2011).



Gambar 2. Proses penilaian risiko (Ditjen SDA, 2011)

a. Analisis Risiko

Analisis Risiko adalah metode sistematis untuk memperkirakan

seberapa besar probabilitas yang dimiliki dari setiap risiko yang teridentifikasi (Ditjen SDA, 2011).

Analisis risiko dilakukan dengan melakukan sejumlah tahapan diantaranya:

1. Identifikasi bahaya yaitu membuat daftar semua potensi bahaya yang mungkin terjadi;
2. Identifikasi mode kegagalan yaitu terdiri dari pembuatan daftar mode kegagalan yang mungkin akan terjadi serta mengeliminasi potensi bahaya dan mode kegagalan yang mungkin dapat diabaikan dengan menggunakan metode FMECA.
3. Perkiraan probabilitas kegagalan dengan menggunakan metode tradisional, pohon kejadian dan metode modifikasi ICOLD untuk menghitung indeks risiko.

Perkiraan besar probabilitas pada metode tradisional dan metode pohon kejadian akan menggunakan kombinasi dari **Error! Reference source not found.** dan **Error! Reference source not found.**

b. Evaluasi Risiko

Evaluasi risiko untuk metode tradisional dan metode pohon kejadian dilakukan dengan memasukkan hasil perkiraan probabilitas kedalam grafik pada Gambar 3. Untuk metode modifikasi ICOLD, evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai indeks risiko terhadap kelas risiko.

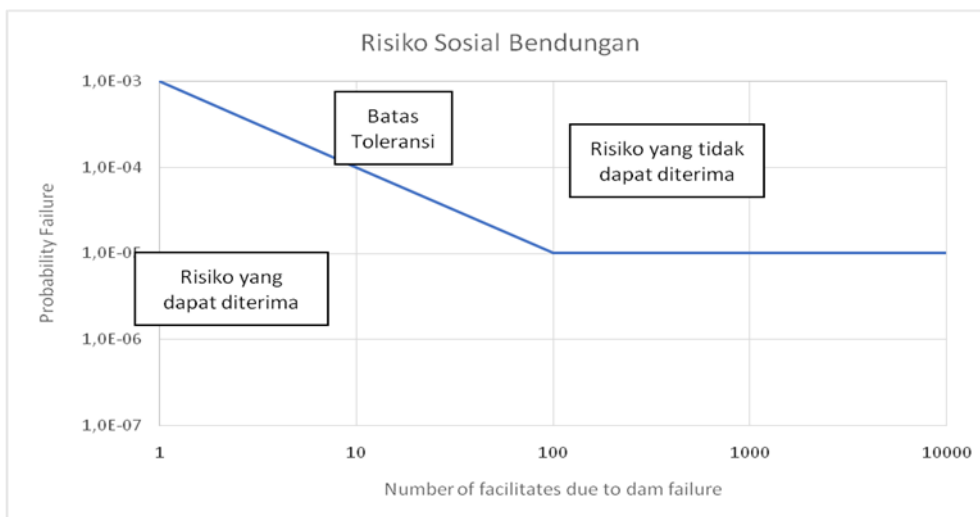
Tabel 1. Nilai kualitatif kemungkinan untuk analisis risiko (Ditjen SDA, 2011)

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

Tabel 2. Pemetaan probabilitas (Ditjen SDA, 2011)

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 satu kejadian kecil dalam data base yang ada, beberapa potensi scenario kegagalan dapat diidentifikasi	0,01

Kejadian atau peristiwa tidak teramati dalam data base yang ada. Sulit untuk diidentifikasi mengenai adanya scenario kegagalan yang masuk akal, namun satu scenario dapat diidentifikasi setelah dilakukan usaha yang cukup	0,001
Kejadian atau peristiwa belum pernah teramati, dan tidak ada scenario yang masuk akal dapat diidentifikasi, meskipun setelah dilakukan usaha yang cukup	0,0001



Gambar 3. Kriteria risiko diterima untuk bendungan eksisting (Ditjen SDA, 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Risiko

1. Identifikasi bahaya

Identifikasi bahaya Bendungan Saguling didasarkan pada inspeksi besar Tahun 2017. Pelaksanaan inspeksi besar dilakukan pada 16 Juni - 23 November 2017. Hasil identifikasi bahaya Bendungan Saguling disajikan pada Tabel 3.

2. Identifikasi Mode Kegagalan

Berdasarkan hasil identifikasi bahaya yang diperoleh, masing-masing komponen dianalisis lebih lanjut melalui analisis model kegagalan, kekritisan dan dampaknya FMECA

(Failure Mode, Effects, and Critically Analysis). Berdasarkan nilai-nilai kualitatif kemungkinan, konsekuensi, keyakinan, dilakukan perhitungan besarnya nilai kualitatif risiko dan kekritisan bahaya. Analisis FMECA Bendungan Saguling tersaji pada Tabel 4. Berdasarkan tabel 4, terdapat tiga komponen dengan skala prioritas tingkat risiko dan kritis tertinggi pada Bendungan Saguling, yaitu Tubuh Bendungan, *Spillway* dan Air Waduk dengan kriteria risiko sedang. Urutan tingkat risiko bahaya Bendungan Saguling disajikan pada Tabel 5.

Tabel 3. Identifikasi Bahaya Bendungan Saguling

No.	Komponen	Identifikasi Sumber Bahaya	Penyebab	Mode Kegagalan
-----	----------	----------------------------	----------	----------------

No.	Komponen	Identifikasi Sumber Bahaya	Penyebab	Mode Kegagalan
1	Tubuh Bendungan	Rembesan melalui tubuh bendungan	Perbedaan tinggi tekanan air di hulu dan hilir bagian inti lempung	Erosi internal di bagian inti
2	Tubuh Bendungan	Kemungkinan berkurangnya tinggi jagaan	Penurunan puncak bendungan	Dapat menyebabkan <i>overtopping</i>
3	<i>Spillway</i>	Tidak terpasang <i>trash boom</i> di muka <i>spillway</i>	Tidak terpasang <i>trash boom</i>	<i>Spillway</i> tersumbat sampah dan menyebabkan <i>overtopping</i>
4	<i>Spillway</i>	Pintu <i>spillway</i> jarang dibuka secara periodik	Mempertahankan Muka Air Banjir (MAB) sampai datangnya banjir	Pintu <i>Spillway</i> tidak dapat dioperasikan ketika banjir
5	<i>Bottom Outlet</i>	Pintu <i>Bottom Outlet</i> tidak pernah dioperasikan	Khawatir ketika dioperasikan tidak dapat tertutup kembali	Tidak dapat menurunkan tinggi muka air ketika keadaan bahaya
6	Daerah Genangan waduk	Longsor pada daerah genangan waduk	Alih fungsi lahan pertanian dan galian pasir liar	Longsor yang masuk ke waduk dapat menyebabkan <i>overtopping</i>
7	Air Waduk	Air waduk mengandung zat reaktif yang menyebabkan korosi	Banyak polutan masuk ke waduk dari domestik dan keramba jaring apung	Berkurangnya kekuatan struktur beton dan baja

Tabel 4. Analisis FMECA Bendungan Saguling

No	Bagian/ Komponen	Kemungkinan (P)	Konsekuensi (I)	Keyakinan (C)	Risiko (R)=(P) x(I)	Kekritisn (Cr)= (R)x(C)
1	Tubuh Bendungan	2	5	3	10	30
2	Tubuh Bendungan	1	5	1	5	5
3	<i>Spillway</i>	2	5	3	10	30
4	<i>Spillway</i>	2	5	2	10	20
5	<i>Bottom Outlet</i>	1	5	1	5	5
6	Daerah Genangan waduk	1	5	2	5	10
7	Air Waduk	2	5	3	10	30

Tabel 5. Urutan Tingkat Risiko dan Kekritisn Komponen Bendungan Saguling

No.	Bagian/Komponen	Urutan Risiko	Kekritisn
1	Tubuh Bendungan	1	1
2	Tubuh Bendungan	2	4
3	<i>Spillway</i>	1	1
4	<i>Spillway</i>	1	2
5	<i>Bottom Outlet</i>	2	4
6	Sekitar waduk	2	3

No.	Bagian/Komponen	Urutan Risiko	Kekritisian
7	Air Waduk	1	1

2. *Perkiraan Probabilitas Kegagalan*

a) Metode Pohon Kejadian

Komponen dengan urutan risiko bahaya tertinggi pada analisis FMECA diperkirakan probabilitas kejadian tahunannya dengan analisis pohon kejadian atau *Event Tree Analysis* (ETA). Setiap komponen dikategorikan kedalam kategori *Ekstrim*, *High*, *Medium*, *Low* dan Normal. Kriteria penentuan kategori yang digunakan yaitu Normal

(Komponen bekerja dengan normal atau komponen telah diperbaiki), *Low* (Kategori ini tidak digunakan), *Medium* (kerusakan tidak diperbaiki, ada permasalahan akibat penyebab namun komponen bekerja normal, dan ada masalah akibat penyebab sehingga komponen tidak bekerja normal dan tidak *overtopping*), *High* (*Overtopping* namun dam tidak runtuh), *Ekstrim* (*Overtopping* sehingga dam runtuh).

Tabel 6. Probabilitas Bahaya Bendungan Saguling

No	Komponen	Penyebab	Mode Kegagalan	Ekstrim	High	Medium	Low	Normal
1	Tubuh Bendungan	Perbedaan tinggi tekanan air di hulu dan hilir bagian inti lempung	Dam runtuh	4.250E-08	1.750E-08	4.995E-05	0.000E+00	1.000E+00
2	Air Waduk	Air waduk mengandung zat reaktif yang menyebabkan korosi	Dam runtuh	1.170E-09	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00	1.000E+00
3	Spillway	Tidak terpasang trash boom	Dam runtuh	1.600E-12	3.984E-10	1.000E-04	0.000E+00	9.989E-01
Total				4.367E-08	1.790E-08	1.499E-04	0.000E+00	2.999E+00

b) Metode Tradisional

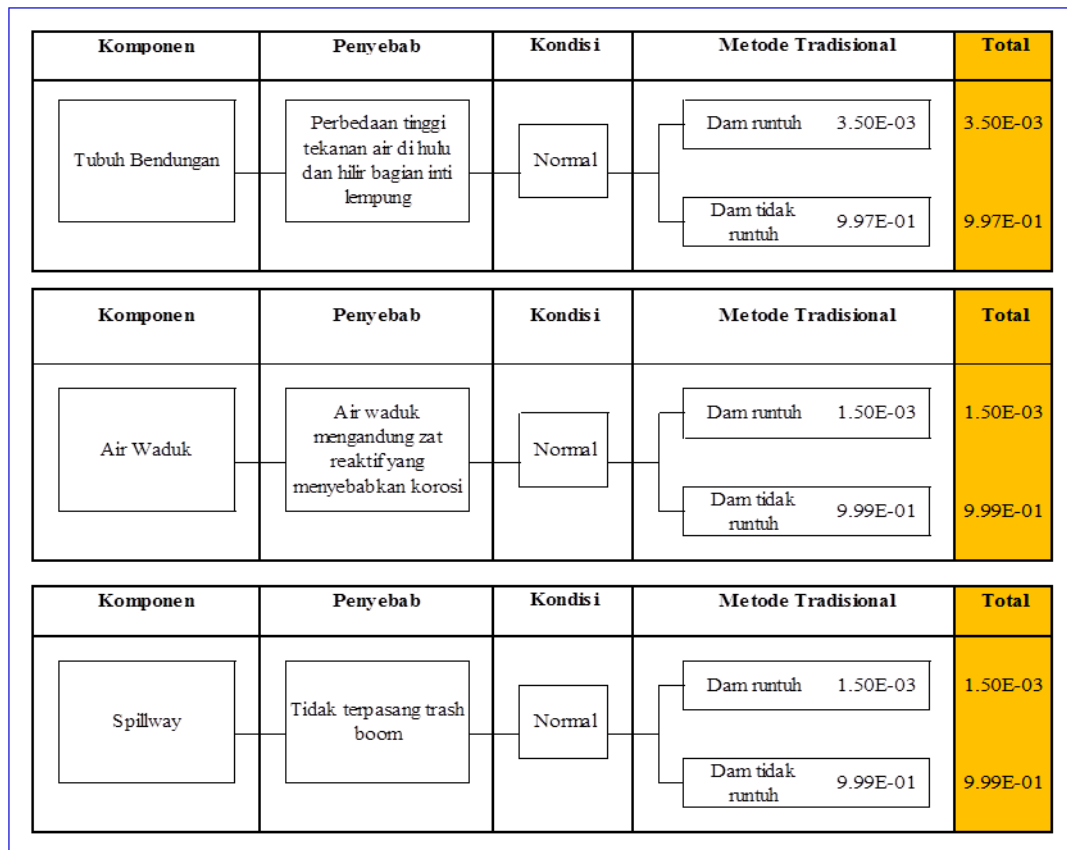
Analisis ini dilakukan dengan menentukan mode kegagalan dan probabilitas. Probabilitas ditentukan menggunakan asumsi kriteria desain, **Error! Reference source not found.1** dan **Error!**

Reference source not found.2.

Hasil analisis metode tradisional Bendungan Saguling tersaji pada bagan Gambar 4 sedangkan Probabilitas bahaya analisis tradisional disajikan pada **Error! Reference source not found..**

Tabel 7. Probabilitas Bahaya Analisis Tradisional Bendungan Saguling

No	Komponen	Penyebab	Probabilitas
1	Tubuh Bendungan	Perbedaan tinggi tekanan air di hulu dan hilir bagian inti lempung	3.50E-03
2	Air Waduk	Air waduk mengandung zat reaktif yang menyebabkan korosi	1.50.E-03
3	Spillway	Tidak terpasang trash boom	1.50.E-03



Gambar 4. Hasil Analisis Metode Tradisional Bendungan Saguling

c) Metode Modifikasi *ICOLD*

Berdasarkan hasil perhitungan indeks risiko Bendungan Saguling diperoleh nilai risiko sebesar 43. Rekapitulasi

analisis risiko metode modifikasi *ICOLD* Bendungan Saguling disajikan pada **Error! Not a valid bookmark self-reference.**

Tabel 8. Penilaian Risiko Total Bendungan Saguling

Faktor Pengaruh/Dampak	Kuantitas	Klasifikasi dan Nilai				Nilai Risiko
		ST	T	S	R	
1. Kapasitas Waduk (juta m3)	970	6	-	-	-	6
2. Tinggi Bendungan (m)	97,5	6	-	-	-	6
3. Penduduk di evakuasi (jumlah orang)	2.800	-	8	-	-	8

4. Potensi kerusakan hilir (terhadap struktur yang ada)	Tinggi	12	-	-	-	12
5. Risiko bisnis akibat kegagalan bendungan	Tinggi	6	-	-	-	6
Sub-total (5) :		30	8	-	-	38
6. Pengelolaan keamanan :						
a. Ketersediaan catatan konstruksi dan pemeliharaan	Cukup	-	-	1	-	1
b. Ketersediaan instrumentasi yang dioperasikan dan catatan pemantauan	Cukup	-	-	1	-	1
c. Tingkat usaha yang lalu untuk evaluasi keamanan	Cukup	-	-	1	-	1
d. Perkembangan daerah hilir yang baru atau yang akan datang	Besar	-	2	-	-	2
Sub-total (6) :		0	2	3	0	5
7. Masalah struktural :						
a. Terkait kapasitas pelimpahan banjir		-	-	-	-	0
b. Terkait stabilitas statis		-	-	-	-	0
c. Terkait ketahanan terhadap gempa		-	-	-	-	0
Sub-total (7) :		0	0	0	0	0
Total						43
Klasifikasi						Sedang

Evaluasi Risiko

1. Evaluasi Metode Tradisional

Berdasarkan hasil analisis risiko dengan metode tradisional, nilai probabilitas risiko Bendungan Saguling berada di atas nilai risiko yang dapat diterima. Seperti tersaji pada Tabel 9 dan Gambar 5.

2. Evaluasi Metode Pohon Kejadian

Berdasarkan hasil analisis risiko dengan metode pohon kejadian, nilai probabilitas risiko Bendungan Saguling berada di bawah batas nilai

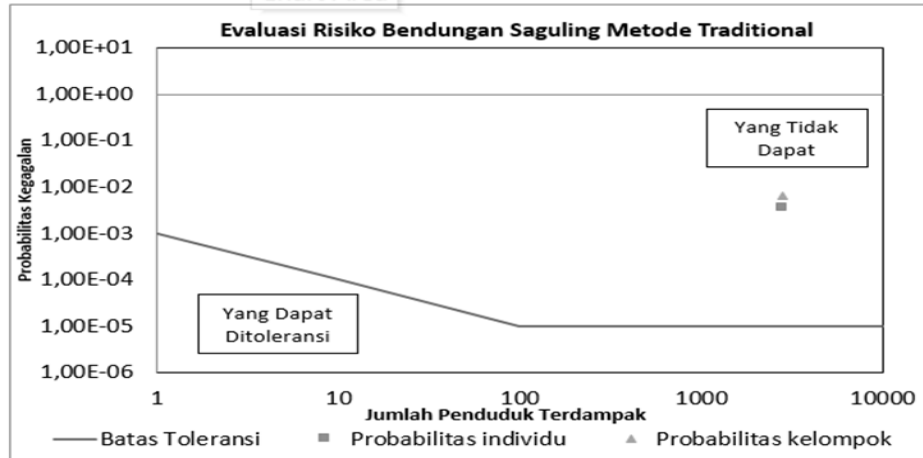
risiko yang dapat diterima. Seperti tersaji pada Tabel 10 dan Gambar 6:

3. Evaluasi Risiko Metode modifikasi ICOLD

Metode modifikasi ICOLD memiliki kriteria tingkat risiko berdasarkan nilai indeks risiko yang diperoleh. Untuk mengurangi tingkat risiko, maka harus dilakukan upaya-upaya perbaikan. Berdasarkan analisis, nilai risiko Bendungan Saguling sebesar 43 dan termasuk kategori risiko sedang.

Tabel 9. Status probabilitas bahaya Bendungan Saguling metode tradisional

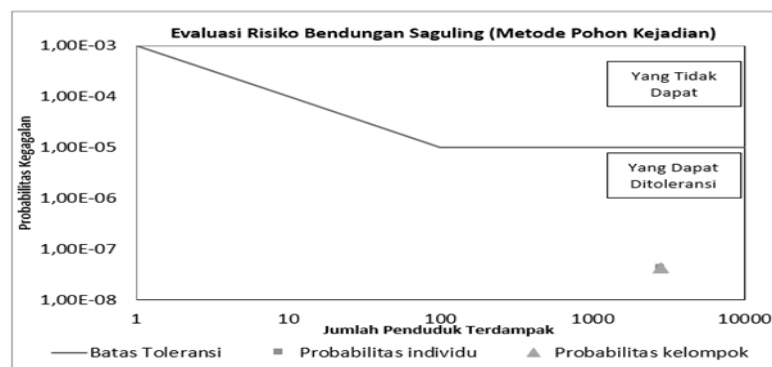
Kriteria	Hasil analisis	Batas	Status
Probabilitas ekstrim individu diambil dari per bagian	3.500E-03	1.00E-04	Tidak memenuhi
Probabilitas ekstrim kelompok diambil dari jumlah ekstrim	6.500E-03	1.00E-04	Tidak memenuhi
Kriteria risiko sosial pada grafik			Tidak memenuhi



Gambar 5. Evaluasi Risiko Bendungan Saguling Metode Tradisional

Tabel 10. Status probabilitas bahaya Bendungan Saguling metode pohon kejadian

Kriteria	Hasil analisis	Batas	Status
Probabilitas ekstrim individu diambil dari per bagian	4.250E-08	1.00E-04	Memenuhi
Probabilitas ekstrim kelompok diambil dari jumlah ekstrim	4.367E-08	1.00E-04	Memenuhi
Kriteria risiko sosial pada grafik			Memenuhi



Gambar 6. Evaluasi Risiko Bendungan Saguling Metode Pohon Kejadian

SIMPULAN

Penilaian risiko dengan metode tradisional menunjukkan risiko Bendungan Saguling tidak dapat diterima karena pada metode ini tidak

dijabarkan secara rinci masing-masing kemungkinan sedangkan penilaian risiko dengan metode pohon kejadian menunjukkan bahwa risiko Bendungan Saguling dapat diterima. Penilaian

risiko dengan metode modifikasi ICOLD menunjukkan Bendungan Saguling termasuk kategori Bendungan dengan risiko sedang. Hasil penilaian risiko yang memenuhi atau tidak bukan implikasi bahwa bendungan dalam kondisi bahaya, namun dijadikan sebagai alat penilaian dalam rangka pengambilan keputusan penentuan prioritas pemeliharaan bendungan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Balai Besar Wilayah Sungai Citarum, Pengelola Bendungan Saguling serta segenap pihak yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 127(4), 325-334.
- BBWS Citarum, 2020, *Pembuatan Pola Operasi Waduk Kaskade Citarum. DOISP2*.
- Bank Dunia, 2018, "Meningkatkan Keamanan Bendungan dan Perlindungan Masyarakat Umum melalui Rencana Tindak Darurat dan Rencana Kontinjensi Berbasis Inasafe", The World Bank Group. Washington, USA.
- Brown, Alan., and Gosden, John, 2004, *Risk Assessment of Dams – recent developments in the United Kingdom*.
- Buldan, R., Suharyanto, & Sriyana, 2021, Penilaian risiko kegagalan bendungan kedungombo sebagai dasar prioritas pemeliharaan bendungan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 557–570.
- Departemen PU, 1995, *Bendungan Besar di Indonesia*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Ditjen SDA, 2011, *Pedoman Teknis Penilaian Risiko*.
- Indrawan, D., 2013, Penilaian Indeks Risiko Metode Modifikasi Andersen Dan Modifikasi ICOLD Untuk 12 Bendungan Di Pulau Jawa. *Jurnal Sumber Daya Air*. 9(2), 93–102.
- Kementerian PUPR, 2015, *Peraturan Menteri PUPR No.27/PRT/M/2015 tentang Bendungan*. Kementerian PUPR.
- Pramudawati, M.A.H., Mahdi I.T., & Ranisa, G., 2020, *Penilaian Risiko Keamanan Bendungan Di Jawa Timur*. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(2), 93–102.
- Puslitbang Sumber Daya Air, 2006, *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa. Volume II, Jawa Tengah*. Bandung, Kementerian PUPR.
- Soentoro, E.A., Purnomo, A.B., & Susantin, S.H., 2013, Study on Dam Risk Assessment as a Decision-Making Tool to Assist Prioritizing Maintenance of Embankment Dam in Indonesia. November.

Yuliningtyas, C.D., Juwono, P.T., &
Yuliani, E., 2016, Analisis
Probailitas Resiko Kegagalan
Bendungan Gerokgak

Berdasarkan Metode Pohon
Kejadian (Event Tree). Jurnal
Teknik Pengairan, 7, 7–16.