

APLIKASI METODE MODIFIKASI ICOLD UNTUK PENILAIAN KELAS RESIKO BENDUNGAN TAPIN

Rosmita Annisa^{1,*}, Ignatius Sriyana², Sri Sangkawati²)

¹)Balai wilayah Sungai Kalimantan III, Kementerian PUPR
Jln. Yos Sudarso No.10, Kota Banjarmasin 70119

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

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

Abstract

The risk assessment of the dam is carried out to estimate the hazard risk of the dam. Risk assessment on dams that have been built and in operation aims to determine the priority of repair and rehabilitation work to improve safety based on the risks that exist in the dam. Research on the risk class assessment of Tapin Dam using the modified ICOLD method includes calculating the risk value on various factors considered, namely the technical physical condition of the dam and related to the implementation of dam safety. The parameters of each factor were obtained from the results of field inspections and technical documents related to the Tapin Dam. Based on the results of the risk assessment, Tapin Dam is classified as a dam with a high risk class. Monitoring the behavior of the dam, regular inspections and post-earthquake conditions, performing routine and periodic maintenance, as well as updating and socializing the RTD are actions that the Tapin dam administrator can take to manage long-term risks that can occur.

Kata kunci : *dam, qualitative, risk class, modified ICOLD, tapin*

PENDAHULUAN

Bendungan selain memberikan manfaat juga memiliki resiko yang dapat menimbulkan bahaya apabila mengalami keruntuhan atau kegagalan (Zvanut et al., 2013). Penilaian risiko perlu dilakukan pada bendungan untuk memperkirakan besarnya resiko bahaya pada bendungan. Penilaian risiko dapat menyediakan cara lain untuk masalah yang tidak dapat diselesaikan dengan metode atau standar rekayasa teknik tradisional (Yuliningtyas et al., 2016). Pada bendungan yang telah terbangun atau beroperasi, salah satu tujuan dilakukannya penilaian risiko adalah

untuk menentukan prioritas atau peringkat pekerjaan perbaikan atau rehabilitasi yang diperlukan guna meningkatkan keamanan berdasarkan resiko yang ada pada bendungan tersebut (Paramudawati et al., 2020).

Penilaian resiko pada bendungan dibagi menjadi dua yaitu penilaian resiko secara kualitatif dan secara kuantitatif (Ditjen SDA, 2011). Penilaian resiko secara kualitatif adalah suatu penilaian yang menggunakan bentuk kata, deskripsi atau skala peringkat numerik untuk menggambarkan besarnya potensi konsekuensi dan kemungkinan bahaya yang akan terjadi. Salah satu penilaian

resiko secara kualitatif adalah penilaian kelas resiko dengan metode modifikasi ICOLD (Suprpto & Sadono, 2021).

Keterbatasan informasi terkait bendungan, waktu dan dana, membutuhkan metode penilaian risiko yang cepat untuk menentukan prioritas pemeliharaan dan perbaikan pada suatu bendungan (Buldan et al., 2021). Hal tersebut menjadi salah satu alasan digunakannya penilaian indeks risiko dengan metode modifikasi ICOLD. Metode modifikasi ICOLD merupakan metode yang paling sederhana dibandingkan metode lainnya pada penilaian risiko bendungan secara kualitatif, karena metode ini tidak memberikan cara untuk menentukan tingkat risiko yang dapat diterima terhadap kriteria risiko yang dapat ditolerir (World Bank, 2021). Penilaian risiko dengan metode ini dilakukan berdasarkan hasil inspeksi visual, informasi desain dan konstruksi, laporan pemantauan, laporan inspeksi dan penyelidikan terdahulu, termasuk diskusi dengan pengelola bendungan (Indrawan et al., 2015).

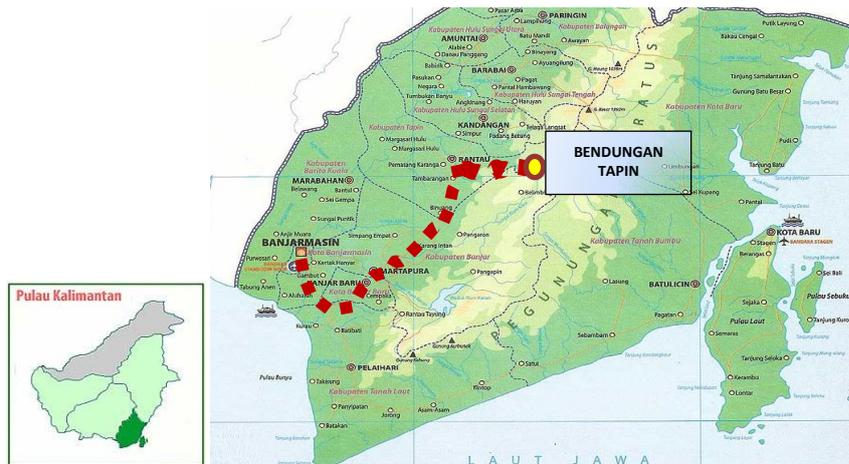
Penelitian ini dilakukan di bendungan Tapin yang merupakan bendungan kedua di Provinsi Kalimantan Selatan setelah bendungan Ir. Pangeran Muhammad Noor. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui indeks risiko bendungan Tapin pada kondisi setelah dilakukan pengisian awal. Kebaharuan dari penelitian ini adalah bendungan yang diteliti belum pernah dilakukan

penelitian serupa, baik penilaian risiko secara kualitatif maupun kuantitatif.

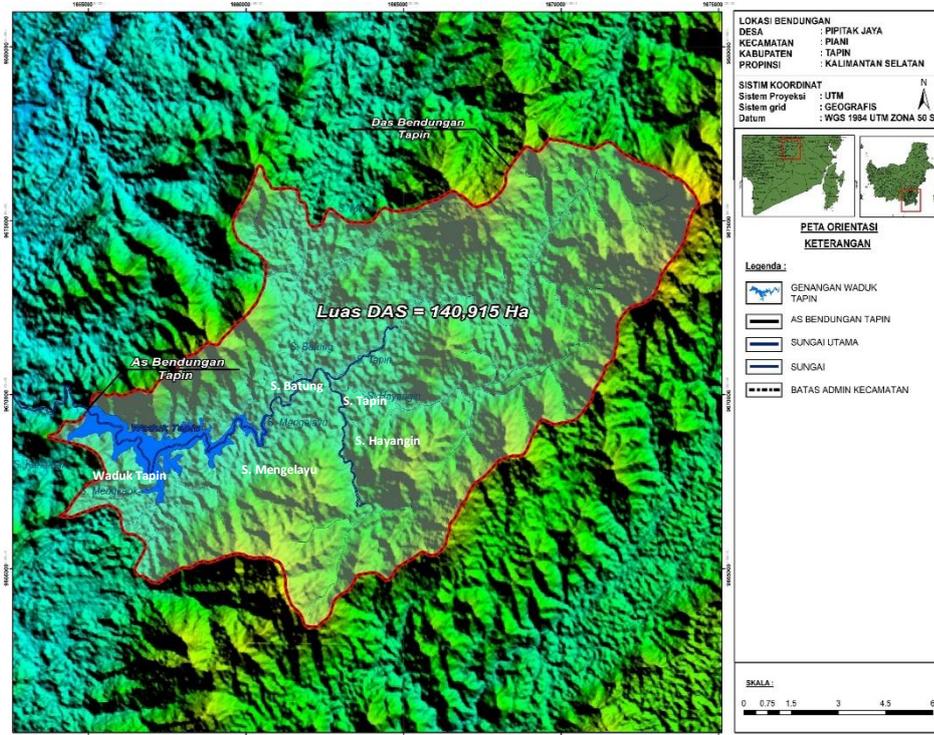
METODE PENELITIAN

Bendungan Tapin sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2, dibangun di Sungai Tapin, Desa Pipitak Jaya, Kecamatan Piani, Kabupaten Tapin, Provinsi Kalimantan Selatan. Secara geografis lokasinya terletak pada Koordinat $115^{\circ}20'14,6''$ Bujur Timur dan $02^{\circ}56'31''$ Lintang Selatan. Bendungan Tapin seperti yang terlihat pada Gambar 3, merupakan bendungan urugan dengan zonal inti tegak, tinggi bendungan 70 m, panjang puncak 262,7 m, lebar puncak 12 m dan tampungan sebesar 56,77 juta m³. Pelaksanaan konstruksi dilakukan pada tahun 2015-2020 dan saat ini sedang dalam tahap pengisian waduk dan persiapan pelaksanaan operasi dan pemeliharaan (POP) (BWS Kalimantan II, 2020).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penilaian indeks risiko dengan metode modifikasi ICOLD. Berbagai faktor yang dipertimbangkan dalam penilaian risiko metode modifikasi ICOLD yaitu kondisi fisik teknis bendungan seperti kapasitas waduk, tinggi bendungan, defisiensi atau cacat struktural, dampak kegagalan bendungan pada daerah hilir yang terkena risiko dan risiko bisnis bagi pemilik. Selain itu, untuk bendungan yang sudah terbangun dan beroperasi, juga dipertimbangkan faktor-faktor terkait penyelenggaraan keamanan bendungan (Paramudawati et al., 2020).



Gambar 1. Lokasi Bendungan Tapin (BWS Kalimantan II, 2020)



Gambar 2. Catchment Area Bendungan Tapin (BWS Kalimantan II, 2019)

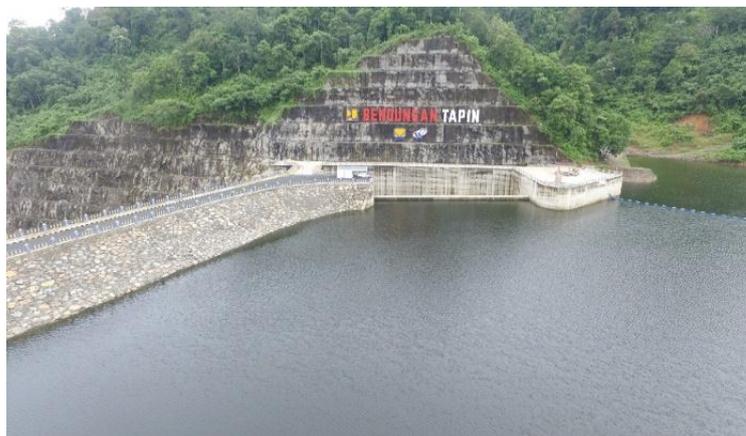
Faktor Resiko Penyelenggaraan Keamanan

Faktor risiko penyelenggaraan keamanan adalah faktor yang terkait dengan hal-hal yang harus dilakukan atau dipenuhi agar memungkinkan dilaksanakannya evaluasi perilaku dan keamanan bendungan yang sudah terbangun atau beroperasi. Faktor-faktor ini ditetapkan untuk dijadikan

pertimbangan berdasarkan kondisi penyelenggaraan keamanan pada sebagian besar bendungan di Indonesia. Dalam metode modifikasi ICOLD, faktor-faktor risiko penyelenggaraan keamanan adalah (1) ketersediaan dokumen atau laporan atau catatan tentang desain, pelaksanaan, gambar yang dilaksanakan, operasi pemeliharaan,

(2) adanya instrumen yang dioperasikan dan dipelihara, termasuk pencatatan dan pelaporan data-data pemantauan maupun pengamatan, (3) kegiatan atau usaha sebelumnya terkait

evaluasi perilaku dan keamanan bendungan, (4) perkembangan baru atau di masa yang akan datang di daerah hilir bendungan (Indrawan et al., 2013).



Gambar 3. Bendungan Tapin (BWS Kalimantan III, 2021)

Faktor Resiko Defisiensi Struktural

Faktor defisiensi atau cacat struktural yang dapat menyebabkan kegagalan bendungan dalam metode modifikasi ICOLD adalah (1) defisiensi yang terkait dengan kapasitas banjir, meliputi kapasitas pelimpah yang tidak cukup, kerusakan pada bendungan dan bangunan pelengkap yang diakibatkan oleh ketidakcukupan pelimpah dan defisiensi mekanikal elektrial pada pintu pelimpah dan peralatan pengoperasian pintu, (2) defisiensi yang terkait dengan stabilitas statis, antara lain meliputi ketidakstabilan lereng, penurunan berlebihan pada tubuh bendungan dan atau pondasi, filter yang tidak memadai atau kurang filter, erosi buluh yang melewati tubuh bendungan dan atau pondasi, kerusakan pada bangunan pengeluaran, fitur struktural yang tidak cocok dalam geologi pondasi dan rembesan yang

berlebihan, (3) defisiensi yang terkait dengan ketahanan gempa, meliputi antara lain tidak adanya tinggi jagaan akibat penurunan puncak, likuifaksi pada material pondasi, ketidakstabilan lereng, kerusakan pada bendungan dan bangunan pelengkap, ketidakstabilan rim waduk akibat kejadian gempa dan kekurangan pemenuhan persyaratan untuk beban gempa dalam desain. Identifikasi defisiensi structural dilakukan dengan melaksanakan inspeksi, mempelajari masalah yang didokumentasikan, laporan kajian ulang keamanan serta laporan inspeksi sebekumnya.

Setelah defisiensi-defisiensi diatas diidentifikasi, penilaian kelas resiko tiap defisiensi dapat dilakukan dengan menggunakan Tabel 1 dan Tabel 2. Penggunaan Tabel 1 dan Tabel 2 dalam melakukan penilaian kelas resiko harus dilakukan dengan

hati-hati, karena tingkat kepelikan suatu defisiensi pada suatu bendungan tertentu, menimbulkan kemungkinan bendungan tersebut harus dimasukkan dalam kelas resiko yang lebih tinggi.

Tabel 3 digunakan dalam penentuan nilai resiko yang digunakan untuk bendungan-bendungan di Indonesia. Setiap faktor tersebut diberikan nilai resiko dengan klasifikasi resiko ekstreme, tinggi, sedang dan rendah. Tahap selanjutnya adalah mengklasifikasikan berdasarkan jumlah nilai dari semua faktor. Bendungan yang memiliki total nilai resiko pada kisaran 0-15 termasuk dalam kelas resiko I (rendah), 16-45 termasuk dalam kelas resiko II (sedang), 46-75 termasuk dalam kelas resiko III (tinggi) dan lebih besar dari 75 termasuk dalam kelas resiko IV (ekstrem).

Bendungan yang termasuk kelas resiko I (rendah) merupakan bendungan dengan resiko mengalami kegagalan atau kesalahan operasi yang

tidak mengakibatkan kemungkinan hilangnya nyawa manusia, kerugian ekonomi dan atau kerusakan lingkungan terjadi dalam skala kecil, dimana pada prinsipnya kerusakan terbatas hanya terjadi pada struktur bendungan saja. Bendungan yang termasuk kelas resiko II (sedang) merupakan bendungan dengan resiko mengalami kegagalan atau kesalahan operasi yang tidak mengakibatkan kemungkinan hilangnya nyawa manusia tetapi dapat menyebabkan kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan, gangguan fasilitas penunjang kehidupan. Bendungan yang termasuk kelas resiko III (tinggi) dan IV (ekstrem) merupakan bendungan dengan resiko mengalami kegagalan atau kesalahan operasi yang menyebabkan hilangnya nyawa manusia selain kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan dan fasilitas penunjang kehidupan (Adamo et al., 2020).

Tabel 1. Panduan penetapan kelas resiko defisiensi terkait kapasitas banjir dan stabilitas statis (Bendungan, 2014)

Kategori Dampak	Ekstrem	Tinggi	Sedang	Rendah
Defisiensi terkait Kapasitas Banjir				
Faktor Penilaian	6	4	2	0
Kapasitas	Ketidakcukupan kapasitas pelimpah (Penetapan berdasarkan defisiensi yang ada).			Menetapkan kelas ini hanya bila tidak ada defisiensi yang merugikan
Gambaran Struktur		Kerusakan disebabkan oleh struktur pelimpah yang tidak cukup	Defisiensi pada peralatan elektro-mekanik	
Defisiensi terkait Stabilitas Statis				
Faktor Penilaian	18	12	6	0
Filter		Tidak ada	Ketidakcukupan	Menetapkan

Kategori Dampak	Ekstrim	Tinggi	Sedang	Rendah
Piping yang menembus bendungan dan pondasi	<i>Seepage</i> aktif	Filter Daerah jenuh (Waduk hampir penuh)	Filter Daerah lembab (Waduk hampir penuh)	kelas ini hanya bila tidak ada defisiensi yang merugikan
<i>Sinkholes</i> / Lobang Benam Konduit	Banyak, besar, Runtuh	Terbatas, besar, runtuh Pipa tidak dilapisi beton, dalam parit vertical tidak ada <i>cutoffs</i> atau lapis filter	Pipa dilapisi beton dalam parit vertical tidak ada <i>cutoffs</i>	
Retakan	Melintang ke bagian puncak dengan kedalaman > 50% <i>freeboard</i>	Melintang ke bagian puncak, dengan kedalaman < 50% <i>freeboard</i>	Retakan memanjang. Erosi.	
Ketidakstabilan lereng	Pencampuran yang tidak baik. Tekanan piezometrik tinggi	Lereng (timbunan) lebih curam dari 2H:1V. Permukaan freatik di tepi lereng	Pemadatan yg kurang baik. Pohon di tepi lereng. Lubang di tepi lereng	
Penurunan / pergerakan			Penurunan dan/atau pergerakan yang terlalu berlebihan	
Faktor Penilaian	18	12	6	0
Geologi fondasi		Fitur geologi yang tidak cocok (struktural atau geomorfologi)		
Struktur konduit	Pipa baja, tidak dilapisi beton	Pipa besi tidak dilapisi beton	Kerusakan konduit yang dipendam	

Tabel 2. Panduan penetapan kelas resiko defisiensi terkait ketahanan gempa (Bendungan, 2014)

Kategori Dampak	Ekstrim	Tinggi	Sedang	Rendah
Defisiensi terkait Ketahanan Gempa				

Faktor Pertimbangan	12	8	4	0
Gambaran Desain		Ketidakcukupan persyaratan untuk desain beban seismik		Menetapkan kelas ini hanya bila tidak ada defisiensi yang merugikan
<i>Freeboard</i> yang tersedia	< 5% tinggi		< 10% tinggi	
Geometri / material / fitur		Lereng lebih curam dari 2H:1V. Ada Struktur di bagian puncak	Pemadatan yg kurang baik. Struktur pelengkap yang rentan terhadap bahaya.	
Material yang dapat cair	Pasir lepas jenuh di tepi lereng atau pondasi	Pasir lepas tidak jenuh di tepi lereng atau pondasi	Pasir di lereng atau pondasi	
Ketidakstabilan daerah waduk		Lereng rim > 1:1	Longsoran yg sudah teridentifikasi pada rim waduk.	

Tabel 3. Penentuan nilai resiko (IR) untuk bendungan di Indonesia (Bendungan, 2014)

RISIKO KELAS	EKSTRIM		TINGGI		SEDANG		RENDAH		
	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	
Kontribusi terhadap risiko (penilaian yang layak diberikan)									
Kapasitas Waduk (juta m ³)	> 120	6	120 – 1	4	1 – 0,1	2	< 0,1	0	
Tinggi Bendungan (m)	> 45	6	45 – 30	4	30 – 15	2	< 15	0	
Kebutuhan Evakuasi (Jumlah orang)	> 250.000	12	10-150rb	8	1 – 10 rb	4	0	0	
Potensi Kerusakan Hilir (terhadap struktur yang sudah ada)	Ekstrim	18	Tinggi	12	Sedang	8	Rendah	4	
Risiko Bisnis untuk pemilik sebagai akibat dari Kegagalan bendungan	Ekstrim	12	Tinggi	6	Sedang	4	Rendah	2	
Faktor Tambahan untuk Bendungan yang Sudah Ada	Ketersediaan data konstruksi & pemeliharaan	Tinggi	0	Sedang	1	Rendah	2	Tidak ada	3
	Ketersediaan instrumentasi yang sudah diproses dan data pengamatann	Tinggi	0	Sedang	1	Rendah	2	Tidak ada	3

	ya.								
	Tingkat usaha yang dilakukan pada evaluasi keamanan sebelumnya.	Tinggi	0	Sedang	1	Rendah	2	Tidak ada	3
	Perkembangan hilir yang baru atau yang akan datang	Tinggi	3	Sedang	2	Rendah	1	Tidak ada	0
Faktor tambahan untuk mengatasi defisiensi struktural	Kapasitas banjir sehubungan dengan kegagalan bendungan	Ekstrim	6	Tinggi	4	Sedang	2	Rendah	0
	Stabilitas statis sehubungan dengan kegagalan bendungan	Ekstrim	18	Tinggi	12	Sedang	6	Rendah	0
	Daya tahan terhadap gempa	Ekstrim	12	Tinggi	8	Sedang	4	Rendah	0
Kelas Risiko	I (Rendah)	II (Sedang)	III (Tinggi)	IV (Ekstrim)					
Nilai Resiko	0-15	16-45	46-75	>75					

HASIL DAN PEMBAHASAN

Inspeksi lapangan secara visual di Bendungan Tapin pada bulan Juni 2021. Hasil inspeksi lapangan menemukan beberapa defisiensi fisik yang terkait dengan stabilitas statis. Pada kaki lereng hilir terlihat beberapa rumput liar tumbuh dan ditemukannya retakan rambut pada dinding pelimpah sebelah kanan yang dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5. Identifikasi masalah struktural pada bendungan Tapin yang terkait stabilitas statis dapat dilihat pada Tabel 4, dan penilaian resikonya dapat dilihat pada

tabel 5. Identifikasi masalah dan penilaian resiko terkait faktor penyelenggaraan keamanan dapat dilihat pada Tabel. 6. Dari tabel 6 teridentifikasi penyelenggaraan keamanan bendungan telah mengalami peningkatan khususnya adanya laporan pemantauan instrument dan kesiapan penanganan tindak darurat dengan telah tersedianya Rencana Tindak Darurat (RTD) yang telah disosialisasikan.

Nilai resiko untuk faktor-faktor yang dipertimbangkan pada penilaian resiko bendungan Tapin berdasarkan

Tabel 7 adalah (a) untuk faktor kapasitas waduk dan tinggi bendungan sebesar 10 (b) untuk faktor terkait kondisi daerah hilir sebesar 26 (c) untuk faktor penyelenggaraan keamanan sebesar 5 dan (d) untuk faktor masalah struktural sebesar 6.

Total nilai resiko pada Bendungan Tapin sebesar 47, sehingga kelas resiko bendungan Tapin termasuk kelas resiko III (Tinggi), karena masih memiliki masalah penyelenggaraan dan masalah struktural.

Tabel 4. Identifikasi masalah struktural Bendungan Tapin

No	Komponen / Sub Komponen	Masalah / Defisiensi	Faktor pengaruh / dampak	Usulan Perbaikan	Keterangan
1	Lereng hilir	Rumput tumbuh subur di kaki lereng hilir	Stabilitas	Pemeliharaan : pembersihan rumput dan pemantauan uiltment piezometer	
2	Bangunan Pelimpah	Retak rambut di dinding pelimpah	Stabilitas	Pemeliharaan : Penambalan dengan <i>sealant</i> dari mortar	Panjang ± 11 m , kedalaman bagian atas 1-2 cm, kedalaman bagian bawah 1-2 mm. Di antara sambungan sudah terpasang waterstop dan dowel



Gambar 4. Foto kondisi rumput pada kaki lereng hilir bendungan Tapin (BWS Kalimantan III, 2021)



Gambar 5. Foto retak rambut pada dinding pelimpah bendungan Tapin (BWS Kalimantan III, 2021)

Tabel 5. Penilaian resiko masalah struktural bendungan Tapin

No	Kelompok dan Faktor Pengaruh / Dampak	Masalah	Tingkat Keparahan	Lokasi Masalah	Klasifikasi dan Nilai Risiko				
					ST	T	S	R	Nilai

1	Stabilitas	1.	Diindikasikan rumput tumbuh subur	Lereng hilir	-	-	1	-	1
		2.	Retak rambut di dinding pelimpah	Sepanjang ± 11 m , kedalaman bagian atas 1-2 cm, kedalaman bagian bawah 1-2 mm	Dinding Pelimpah	-	-	1	-
				Sub Total (1)	0	0	2	0	2
2	Banjir	-	-	Bangunan Pelimpah	-	-	-	-	0
				Bangunan pengeluaran	-	-	-	-	0
				Sub Total (2)	0	0	0	0	0
3	Gempa	-	-	-	-	-	-	-	0
						Sub Total (3)	0	0	0
				Total	0	0	2	0	2

Tabel 6. Identifikasi masalah dan penilaian resiko penyelenggaraan keamanan Bendungan Tapin

No	Masalah	Tingkat Keparahan	Kuantitas	Klasifikasi dan Nilai Risiko				
				ST	T	S	R	Nilai
1	Dokumen / laporan / catatan	Desain : ada, Laporan konstruksi : ada, As bulit drawing : ada, laporan OP : belum ada karena masih dalam tahap POP	Lengkap	-	-	-	0	0
2	Instrumentasi dan laporan pemantauan	Hampir sebagian besar instrumentasi berfungsi dan dipantau sejak pemasangan sampai tahap pengisian waduk dan POP Laportan pemantauan lengkap	Cukup	-	-	1	-	1
3	Perkembangan daerah hilir yang baru atau yang akan datang	Berkembang karena merupakan daerah pertambangan batubara; RTD selesai dan sosialisasikan pada tahun 2019	Besar	-	2	-	-	2

No	Masalah	Tingkat Keparahan	Kuantitas	Klasifikasi dan Nilai Risiko				
				ST	T	S	R	Nilai
4	Inspeksi dan evaluasi keamanan yang lalu	Inspeksi dan evaluasi tahunan belum ada karena masih dalam tahap pengisian waduk. Evaluasi keamanan terakhir dilaksanakan pada proses sertifikasi pengisian waduk. Evaluasi keamanan selanjutnya akan dilakukan pada tahap pemantauan selama tahap pengisian waduk dan POP.	Sedikit	-	2	-	-	2
Total				0	4	1	0	5

Tabel 7. Penilaian resiko total bendungan Tapin

Faktor Pengaruh / Dampak	Kuantitas	Klasifikasi dan Nilai				Nilai Risiko
		ST	T	S	R	
1. Kapasitas Waduk (juta m ³)	70,52	-	4	-	-	4
2. Tinggi Bendungan (m)	70	6	-	-	-	6
3. Penduduk di evakuasi (jumlah orang)	23.857	12	-	-	-	12
4. Potensi kerusakan hilir (terhadap struktur yang ada)	Sedang	-	8	-	-	8
5. Risiko bisnis akibat kegagalan bendungan	Tinggi	6	-	-	-	6
Sub-total (5) :		24	12	0	0	36
6. Pengelolaan keamanan :						
a. Ketersediaan catatan konstruksi dan pemeliharaan	Cukup	-	-	-	-	0
b. Ketersediaan instrumentasi yang dioperasikan dan catatan pemantauan	Cukup	-	-	1	-	1
c. Tingkat usaha yang dilakukan untuk evaluasi keamanan	Sedikit	-	2	-	-	2
d. Perkembangan daerah hilir yang baru atau yang akan datang	Besar	-	2	-	-	2
Sub-total (6) :		0	4	1	0	5
7. Masalah struktural sehubungan dengan dampak kegagalan bendungan :						
a. Terkait kapasitas pelimpahan banjir	Rendah	-	-	-	0	0
b. Terkait stabilitas statis	Sedang	-	-	6	-	6
c. Terkait ketahanan terhadap gempa	Rendah	-	-	-	0	0
Sub-total (7) :		0	0	6	0	6
Total						47
Klasifikasi Kelas Resiko						III (Tinggi)

SIMPULAN

Berdasarkan penilaian resiko menggunakan metode modifikasi ICOLD diketahui bahwa bendungan Tapin termasuk kelas resiko III (tinggi) dengan total nilai resiko 47. Tindakan pengelolaan resiko jangka panjang yang dapat dilakukan selanjutnya adalah melakukan pemantauan perilaku, inspeksi secara rutin dan pada kondisi setelah gempa, melakukan pemeliharaan rutin dan berkala, serta melakukan perbaharuan dan sosialisasi RTD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Badan Pengembangan SDM, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Balai Teknik Bendungan, Balai Wilayah Sungai Kalimantan III), Program Studi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dan pihak-pihak lain yang telah membantu dalam dukungan data dan diskusi untuk menyelesaikan tulisan ini. Semoga kajian yang dilakukan bermanfaat dalam pelaksanaan penyelenggaraan operasi dan pemeliharaan bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S., 2020, Dam Safety and Earthquakes: Dam Safety and Earthquakes. *Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(6), 23–40.

Bendungan, S.B., 2014, *Inspeksi dan Penilaian Resiko Bendungan*

Batujai. DOISP Technical Assistance Service for Supporting the Implementation of Dam Safety Assurance & Institutional Improvement.

Buldan, R., Suharyanto, & Sriyana., 2021, Penilaian risiko kegagalan bendungan kedungombo sebagai dasar prioritas pemeliharaan bendungan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 4(3), 557–570.

BWS Kalimantan II., 2019, *Rencana Tindak Darurat Bendungan Tapin.*

BWS Kalimantan II., 2020, *Laporan Akhir Pelaksanaan Bendungan Tapin.*

BWS Kalimantan III., 2021, *Laporan Kajian dan Pemantauan Bendungan Tapin.*

Ditjen SDA, 2011, *Pedoman Teknis Penilaian Risiko.*

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*, 9(2), 93–104.

Indrawan, D., Tanjung, M.I., Setyawan, H.E., & Sadikin, N., 2015, Analisis Statik dan Dinamik Retakan Memanjang di Puncak Bendungan Sutami. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 6(1), 77–90.

Paramudawati, M.A.H., Tanjung, M.I., & Ghafara, R., 2020, Penilaian Risiko Keamanan Bendungan di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11, 93–102.

Suprpto, R.E., & Sadono, K.W.,

- 2021, Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko. *Jurnal Teknik*, 42(2), 226–235. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i2.39715>
- World Bank, 2021, Portfolio Risk Assessment Using Risk Index. In *Good Practice Note on Dam Safety - Technical Note 6: Portfolio Risk Assessment Using Risk Index*. <https://doi.org/10.1596/35490>
- 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.
- Zvanut, P., Turk, M.R., Kryzanowski, A., 2013, Procedure for Dam Safety Risk Analysis and Evaluation of parameters For Large Slovenian Hydropower Dams. *International Symposium on “Dam Engineering in Southeast and Middle Europe”, 20th Anniversary of SLOCOLD (Comitato Nazionale Sloveno)*, 65–72.