

PENILAIAN RISIKO BENDUNGAN TILONG BERBASIS METODE INDEKS RISIKO

Hotma Lamtio Purba*¹, Sukamta², Kresno Wikan Sadono³

^{1,2}Program Magister, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro
e-mail: *hotmapurba@pu.go.id

Received 10 October 2022; Reviewed 23 December 2022; Accepted 23 April 2023

Journal Homepage: <http://jurnal.borneo.ac.id/index.php/borneoengineering>

Doi: <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.3003>

Abstract

Risk assessment aims to identify risks that may occur in various conditions, so that the necessary action plan can be carried out if the risk is unacceptable. In this study, the value of safety level in Tilong Dam, located at Kupang Regency, NTT is calculated. The method used in this research is the risk index method. The method is based on a combination of importance of a dam factors, relative importance of physical conditions, and current condition from inspection. The result of this study shows that Tilong Dam has an importance of a dam factors (I_{dam}) was 630, the total index risk was 116,55, and the safety level was 81,5. Tilong dam could be classified as satisfactory condition (safety level > 75), so that no action plan is needed because it is categorized as safe under normal and extraordinary load conditions.

Keywords: *Tilong Dam, Dam Safety, Risk Assessment, Risk Index Method*

Abstrak

Penilaian risiko bertujuan untuk mengidentifikasi risiko yang mungkin terjadi dalam berbagai kondisi, sehingga dapat dilakukan tindak lanjut yang diperlukan jika risiko tersebut tidak dapat diterima. Pada penelitian ini dilakukan penilaian risiko untuk mendapatkan nilai keamanan bendungan pada Bendungan Tilong yang terletak di Kabupaten Kupang, Provinsi NTT. Metode yang dipakai dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode indeks risiko. Metode indeks risiko didasarkan pada kombinasi faktor kepentingan awal bendungan, faktor kepentingan relatif, dan kondisi hasil inspeksi lapangan. Hasil penelitian menunjukkan Bendungan Tilong memiliki nilai faktor tingkat kepentingan awal (I_{dam}) sebesar 630, indeks risiko total (IR_{tot}) sebesar 116,55, dan nilai keamanan bendungan (N_{aman}) sebesar 81,5. Bendungan Tilong masuk kedalam klasifikasi memuaskan ($N_{aman} > 75$) sehingga tidak diperlukan rencana tindak lanjut karena dikategorikan aman terhadap kondisi beban normal dan beban luar biasa.

Kata kunci: *Bendungan Tilong, Keamanan Bendungan, Penilaian Risiko, Metode Indeks Risiko*

1. Pendahuluan

Bendungan merupakan bangunan air yang mempunyai potensi bahaya jika terjadi kegagalan khususnya terhadap kawasan di hilirnya. Untuk menjamin keamanan bendungan maka pembangunan

dan pengelolaan bendungan harus dilaksanakan berdasarkan 3 (tiga) pilar konsepsi keamanan bendungan (Kementerian PUPR, 2015).

Keamanan dan kinerja operasional bendungan dapat ditingkatkan dengan melakukan kegiatan pemeliharaan, perbaikan, dan rehabilitasi khususnya untuk bendungan yang telah lama dioperasikan. Sistem prioritas perbaikan perlu dilakukan untuk pengefisienan biaya (Cristina Dwi Y et al., 2016).

Menurut (Adamo et al., 2017), risiko dalam keamanan bendungan didefinisikan sebagai ukuran kemungkinan terjadinya kondisi yang merugikan dan tingkat keparahan atas konsekuensi tersebut. Menurut (Budiman, 2022), penilaian risiko pada periode operasi bendungan dapat membantu pengambilan keputusan dalam peningkatan keamanan bendungan. Penilaian risiko pada periode operasi bendungan juga bisa dijadikan dasar penentuan prioritas pekerjaan perbaikan dan rehabilitasi bendungan.

Bendungan Tilong dibangun pada tahun 1998 sampai dengan 2001, dengan tujuan pemanfaatan air untuk irigasi seluas 1.484 Ha dan penyediaan air baku sebesar 150 liter/detik bagi Kota Kupang dan sekitarnya. Lokasi dari bendungan ini terletak di Desa Oelnasi, Kecamatan Kupang Tengah, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Bendungan Tilong memiliki tinggi 44,50 meter, panjang 162 meter, dan volume tampungan 19,07 juta m³. Bendungan Tilong telah melewati beberapa kajian terkait operasi, pemeliharaan, dan keamanan bendungan melalui program *Dam Operational and Safety Project (DOISP)*. Salah satu kegiatan program DOISP yaitu melakukan identifikasi kondisi operasi dan keamanan bendungan yang dilaksanakan pada tahun 2018. Kemudian selanjutnya dilakukan pemeriksaan bendungan secara menyeluruh melalui inspeksi besar Bendungan Tilong pada tahun 2020.

Dari hasil inspeksi besar maka perlu dilakukan evaluasi sehingga apabila ditemukan kondisi kerusakan yang berisiko terhadap kegagalan bendungan, maka hal tersebut dapat diminimalisir sedini mungkin. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penilaian risiko Bendungan Tilong berbasis metode indeks risiko. Hasil penilaian risiko selanjutnya dilakukan klasifikasi keamanan bendungan untuk menentukan langkah tindak lanjut yang perlu dilakukan terhadap kondisi tersebut.

2. Metode Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari hasil inspeksi besar Bendungan Tilong tahun 2020. Inspeksi besar tersebut termasuk kedalam kegiatan program *Dam Operational and Safety Project Phase – II (DOISP-II)* di lingkungan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II.

2.1 Metode Modifikasi Andersen

Metode modifikasi Andersen disebut metode indeks risiko karena memberikan indikasi tingkat potensi risiko yang mungkin terkait dengan kegagalan bendungan. Risiko-risiko ini diukur sebagai kekurangan dalam keadaan atau kondisi fisik bendungan saat ini yang kemudian diberi bobot berdasarkan kepentingannya terhadap keamanan bendungan, kerentanan, dan potensi bahaya bendungan (Andersen et al., 2001). Menurut (Soentoro et al., 2013), metode modifikasi Andersen membutuhkan data dan informasi berupa *baseline dam*, data teknis bendungan, data monitoring dari instrumen yang terpasang, parameter material statis dan dinamis untuk analisis stabilitas pengaruh gempa dan inspeksi lapangan. Menurut (Suprpto et al., 2021), untuk mendapatkan hasil akhir berupa peringkat indeks risiko dan kategori keamanan bendungan diperlukan beberapa parameter. Penentuan parameter berupa bobot/ nilai (*score*) yang kemudian diurutkan berdasarkan tingkat prioritas risikonya. Untuk mendapatkan parameter tersebut dilakukan dengan 6 langkah pendekatan sebagai berikut,

2.1.1 Menentukan Faktor Kerawanan Total

Menurut (Ishbaev et al., 2014), faktor kerawanan total merupakan resistensi bendungan terhadap kejadian kegagalan yang disebabkan faktor alam. Faktor kerawanan total dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Andersen et al., 2001):

$$V = \frac{I_1+I_2+I_3+I_4}{4} \times \frac{E_1+E_2}{2} \times \frac{D_1+D_2}{2} \quad (1)$$

dengan: V adalah nilai faktor kerawanan total, I_1, I_2, I_3, I_4 adalah faktor intrinsik pengaruh tinggi bendungan, tipe bendungan, tipe pondasi, dan kapasitas waduk, E_1, E_2 adalah faktor eksternal (umur bendungan dan kegempaan), dan D_1, D_2 adalah faktor kecukupan kapasitas pelimpah dan faktor stabilitas bendungan.

Tiap-tiap nilai faktor dalam fungsi kerawanan total diberikan dalam skala 1 sampai 10, dengan nilai maksimum faktor kerawanan total sebesar 100. Tabel 1 – 8 menyajikan masing-masing faktor dalam fungsi kerawanan, kriteria yang disarankan, dan bobot yang disarankan dalam perhitungan.

Tabel 1. Faktor Intrinsik Pengaruh Tinggi Bendungan ($I_1 =$ Tinggi Bendungan)

Tinggi Bendungan		Bobot
m	ft	
< 2,7	< 9	1
2,7 - 12,2	9 - 40	3
12,2 - 30,5	40 - 100	6
> 30,5	> 100	10

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 2. Faktor Intrinsik Pengaruh Tipe Bendungan ($I_2 =$ Tipe Bendungan)

Tipe Bendungan	Deskripsi	Bobot
Urugan Batu	Terdiri terutama dari batuan cobble atau partikel yang berukuran lebih besar	4
Urugan Tanah	Terdiri dari kerikil, pasir, dan/atau lanau dan partikel berukuran tanah liat	10

Sumber: (Andersen et al., 2001)

Tabel 3. Faktor Intrinsik Pengaruh Tipe Pondasi ($I_3 =$ Tipe Pondasi)

Tipe Pondasi	Bobot
Batuan	1
Morain	5
Alluvium	10

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 4. Faktor Intrinsik Pengaruh Kapasitas Waduk ($I_4 =$ Kapasitas Waduk)

Kapasitas Waduk			Bobot
ha . m	acre-ft	juta m3	
< 6,17	< 50	< 0,0617	1
6,17 - 123	50 - 999	0,0617 - 1,2335	3
123 - 6170	1000 - 50000	1,2335 - 61,674	6
> 6170	> 50000	>61,674	10

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 5. Faktor Eksternal Umur Bendungan ($E_1 =$ Umur Bendungan)

Umur Bendungan (tahun)	Bobot
0 - 9	10
10 - 29	8
30 - 59	5
60 - 99	2
>100	1

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 6. Faktor Eksternal Kegempaan ($E_2 =$ Kegempaan)

Intensitas Modifikasi Mercalli	Bobot
$\leq V$	1
VI	2
VII	6
VIII	8
IX	10

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 7. Faktor Kecukupan Kapasitas Pelimpah ($D_1 =$ Kapasitas Pelimpah)

Kondisi	Bobot
a. kondisi diketahui	
Kapasitas spillway lebih kecil dari setengah kapasitas yang diperlukan	10
Kapasitas spillway lebih besar dari setengah kapasitas yang diperlukan	5
Kapasitas spillway lebih besar dari yang diperlukan	1
b. perkiraan kondisi	
Kapasitas spillway kurang dari yang diperlukan	5
Kapasitas spillway lebih dari yang diperlukan	2

Sumber: Andersen, et al (2001)

Tabel 8. Faktor Stabilitas Bendungan ($D_2 =$ Stabilitas Bendungan)

Kondisi	Bobot
a. kondisi diketahui	
Faktor Keamanan (SF) terhadap pergerakan massa lebih kecil dari yang diperlukan	10
Faktor Keamanan (SF) terhadap pergerakan massa lebih besar dari yang diperlukan	1
b. perkiraan kondisi	
Faktor Keamanan (SF) terhadap pergerakan massa lebih kecil dari yang diperlukan	7
Faktor Keamanan (SF) terhadap pergerakan massa lebih besar dari yang diperlukan	2

Sumber: Andersen, et al (2001)

2.1.2 Menentukan Faktor Kepentingan Awal

Faktor kepentingan awal didapatkan dengan mengalikan bobot faktor kerawanan total (V) dan bobot faktor bencana (H). Bobot nilai faktor bencana dapat mengacu pada tabel 9. Faktor kepentingan awal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Andersen et al., 2001):

$$I_{dam} = V \times H \quad (2)$$

dengan : I_{dam} adalah faktor kepentingan awal, V adalah faktor kerawanan total, dan H adalah faktor bencana.

Potensi bahaya bendungan ditentukan sesuai jenis kerusakan tertentu yang dapat terjadi di hilir akibat jebolnya bendungan (FEMA, 2004). Penentuan klasifikasi bahaya bendungan (H) dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Klasifikasi Bahaya Bendungan (H)

Klasifikasi Bahaya	Deskripsi	Bobot
High/ Tinggi	Jika terdapat potensi hilangnya nyawa akibat keruntuhan bendungan	10
Medium/ Sedang	Tidak berpotensi menimbulkan korban jiwa tetapi memiliki kemungkinan kerugian ekonomi yang signifikan, kerusakan lingkungan, dan/atau gangguan fasilitas umum.	5
Low/ Kecil	Tidak berpotensi menimbulkan korban jiwa dan menimbulkan kerugian ekonomi dan/atau lingkungan yang kecil.	1

Sumber: FEMA, (2004)

2.1.3 Menentukan Faktor Kepentingan Relatif

Menurut (Andersen et al., 2001), faktor kepentingan relatif dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.

$$RI_j = P [C_j | M_i] \times P [M_i | F] \times I_{dam} \quad (3)$$

dengan: RI_j adalah faktor kepentingan relatif dari kondisi ke- j , $P [C_j | M_i]$ adalah probabilitas kondisional dari ragam kegagalan ke- I , dan $P [M_i | F]$ adalah probabilitas kondisional pada kondisi fisik ke- j .

Menurut (Indrawan et al., 2013), nilai parameter $P [C_j | M_i]$ dan $P [M_i | F]$ susah untuk didapatkan dikarenakan keterbatasan data kegagalan bendungan di Indonesia. Langkah yang dilakukan untuk mensiasati data yang diperlukan adalah dengan menggunakan penelitian-penelitian sebelumnya dari pengalaman USCOLD 1998, Amerika Serikat.

2.1.4 Menentukan Kondisi Inspeksi

Inpeksi visual dilakukan untuk menggambarkan kondisi fisik bendungan di lapangan saat ini. Terdapat 9 (sembilan) daftar isian yang perlu diidentifikasi sesuai kondisi fisik di lapangan. Masing-masing dari sembilan kondisi fisik diberikan bobot/skor dalam bentuk fungsi kondisi (CF_j). Skala bobot CF_j berkisar mulai dari 0 (gagal) hingga 10 (ideal).

2.1.5 Perhitungan Indeks Risiko Total

Indeks risiko total adalah penjumlahan dari semua nilai indeks risiko atas semua bentuk kegagalan potensial. Nilai indeks risiko diperoleh dengan mengkombinasikan bobot kondisi inspeksi (CF_j) dengan faktor kepentingan relatif. Indeks risiko total dapat dihitung menggunakan Persamaan 4 dan 5 (Andersen et al., 2001).

$$IR_j = RI_j \times \frac{(10 - CF_j)}{10} \quad (4)$$

$$IR_{tot} = \sum IR_j \quad (5)$$

dengan: IR_j adalah indeks risiko dari kondisi fisik ke- j , RI_j adalah faktor kepentingan relatif dari kondisi fisik ke- j , CF_j adalah kondisi fisik hasil inspeksi lapangan, dan IR_{tot} adalah indeks risiko total.

2.1.6 Nilai Keamanan Bendungan

Menurut (Soetjiono, 2018), untuk mengetahui tingkat keamanan suatu bendungan dapat dilakukan dengan menentukan nilai keamanan bendungan (N_{aman}). Nilai keamanan bendungan kemudian dipakai dalam menentukan tindak lanjut yang diperlukan terhadap kondisi keamanan bendungan. Perhitungan nilai keamanan bendungan dilakukan dengan persamaan (6) sedangkan klasifikasi tingkat keamanan bendungan disajikan pada tabel 10.

$$N_{aman} = \frac{[I_{dam} - IR_{tot}]}{I_{dam}} \times 100 \quad (6)$$

dengan: N_{aman} adalah nilai keamanan bendungan, I_{dam} adalah faktor kepentingan awal, dan IR_{tot} adalah indeks risiko total.

Tabel 10. Klasifikasi Kondisi Keamanan Bendungan

No	Nilai Keamanan (N_{aman})	Klasifikasi	Kriteria		Tindakan yang diperlukan
			Kondisi Beban Biasa (Normal)	Kondisi Beban Luar Biasa	
1	> 75	Memuaskan	Aman	Aman terhadap banjir desain dan gempa desain	Tidak perlu pengurangan risiko
2	65 - 75	Cukup	Aman	Kemungkinan kurang aman terhadap banjir desain dan gempa desain	Perlu dipastikan apakah waduk dapat beroperasi normal atau tidak
3	55 - 64	Kurang Memuaskan	Aman	Kurang Aman, kemungkinan adanya kemerosotan mutu bahan.	Perlu diteliti dan investigasi lanjutan. Kehati-hatian lebih ditingkatkan saat operasi
4	< 55	Tidak Baik/ Tidak Memuaskan	Tidak Aman	Tidak Aman	Perlu penanganan segera; Pemberhentian atau pembatasan operasi

Sumber: Ishbaev, et al (2014)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Inspeksi Bendungan Tilog

3.1.1 Bendungan Utama

Puncak Bendungan Tilog dilapisi dengan perkerasan aspal dan dilengkapi dengan dinding parapet. Hasil inspeksi secara visual didapatkan kondisi permukaan puncak relatif baik, tidak ada tanda pergeseran maupun penurunan. Selain itu juga dilakukan pemantauan deformasi menggunakan instrumentasi patok geser pada puncak bendungan. Berdasarkan hasil analisis perbandingan elevasi puncak pada tahun 2001 dan 2020 diperoleh nilai deformasi maksimum yang terjadi pada puncak Bendungan Tilog sebesar 0,508 m atau sekitar 50,8% dari *chamber* (*chamber* = 1 m).



Gambar 1(a) Kondisi puncak bendungan, (b) Kondisi hulu bendungan, (c) Kondisi hilir bendungan

Kondisi lereng hulu dan hilir bendungan masih dalam kondisi stabil, tidak terdapat tanda erosi, tonjolan, maupun penurunan. Perlindungan lereng hulu dan hilir bendungan menggunakan rip rap dengan kondisi terdapat banyak rumput liar yang tumbuh. Berdasarkan hasil pembacaan instrumen patok geser didapat nilai deformasi terbesar pada patok SS.12 sebesar 0,033 m kearah hilir. Kondisi puncak bendungan, lereng hulu, dan lereng hilir disajikan pada Gambar 1.

3.1.2 Pelimpah Bendungan

Tipe pelimpah Bendungan Tilong menggunakan pelimpah samping tanpa pintu (*non gated side spillway*) yang memiliki bentuk mercu OGEE, dengan elevasi puncak mercu pada elevasi El. + 100,00 m dan lebar pelimpah samping ini adalah 45 m. Berdasarkan hasil inspeksi kondisi eksisting terlihat stabil, tidak ada penurunan dan pergeseran. Apron dan saluran luncur dalam kondisi baik tidak ditemukan adanya pengelupasan maupun erosi. Sambungan lantai dan dinding juga tidak ditemukan adanya celah ataupun pergeseran. Saat inspeksi kondisi kolam olak dengan tipe III USBR terendam air, namun terlihat kolam olak pelimpah ditumbuhi tanaman liar sehingga aliran air terhambat sampai ke bagian hilir. Kondisi saluran hilir outlet terlihat adanya tumbuhan pada saluran yang menunjukkan adanya sedimen yang masuk ke saluran, sedimen tersebut bisa berasal dari erosi pada dinding bagian hilir tanpa proteksi atau sedimen yang tertahan air.



Gambar 2. Kondisi saluran *spillway* bagian hilir

3.1.3 Bangunan Pengeluaran

Pada pompa hidrolik yang digerakkan oleh motor listrik untuk mengangkat pintu air didapatkan dalam kondisi tidak bekerja normal karena kebocoran seal oli. Pintu *flushing* mengalami kebocoran akibat *seal gate* yang rusak. Kondisi pipa penstock \varnothing 1.20 m secara visual terlihat mengalami korosif akibat cacat permukaan, ini disebabkan oleh kondisi terowongan yang lembab. Kondisi terowongan

mulai dari plugging hingga tikungan tampak bersih, tidak nampak banyak stalaktit. Kondisi terowongan di sekitar tikungan terlihat banyak stalaktit dan stalakmit. Rembesan air kapur berasal dari *drain holes* dan *construction joint* (2 lokasi), dengan kecepatan sangat lambat (hingga membentuk stalaktit dan stalakmit).

Pipa distribusi irigasi \varnothing 0.80 m dan air baku \varnothing 0.40 m secara visual dalam kondisi baik. Diperlukan inspeksi mendalam terhadap permukaan pipa sebagai langkah awal perawatan terhadap korosif permukaan pipa. Selain itu perlu dilakukan *flushing* pipa dengan tekanan $1,5x$ *pressure* kerja untuk membersihkan lumpur atau material yang bisa menghambat pipa.



Gambar 3. Kondisi terowongan pengeluaran

3.1.4 Instrumentasi Keamanan Bendungan

Menurut (Prasad & Dixit, 2019), untuk keamanan dan operasi normal bendungan diperlukan informasi yang akurat dari instrumentasi pemantauan tubuh bendungan, pondasi, waduk, dan sungai. Perilaku bendungan pada setiap periode penyelidikan, desain, konstruksi dan operasi merupakan informasi yang penting dalam keputusan teknis.

Terdapat 7 jenis instrumentasi pada Bendungan Tilong yaitu pengukur tekanan air pori berupa piezometer hidrolis dengan jumlah 16 buah, pengukuran deformasi internal yaitu *multilayer settlement* sebanyak 10 buah, pengukuran deformasi eksternal yaitu patok geser sebanyak 35 buah, pengukuran rembesan berupa *v-notch weir* sebanyak 1 buah, pengamatan elevasi muka air tanah yaitu sumur observasi sebanyak 6 buah, pengamatan elevasi muka air waduk yaitu papan duga muka air sebanyak 2 buah, dan pencatatan gempa yaitu *strong motion accelerograph* sebanyak 2 buah.

3.1.5 Rembesan

Secara visual hasil inspeksi tidak ditemukan adanya rembesan pada tubuh bendungan maupun di hilir bendungan. Hal ini dapat diketahui dari tidak adanya indikasi daerah yang lebih subur di hilir bendungan. Hasil pembacaan tekanan air pori dan *v-notch* kemudian dilakukan analisis rembesan dengan perangkat lunak SEEP/ W oleh PT. Ika Adya Perkasa sehingga didapatkan kapasitas rembesan/ aliran filtrasi (Qh) masih memenuhi persyaratan.

Pada tanggal 4 dan 5 April 2021 telah terjadi hujan besar di sekitar lokasi bendungan sehingga mengakibatkan pembacaan di *v-notch* menjadi besar yaitu 4,36 l/det < dari perencanaan 9,41 l/det (Normal). Namun pada hari berikutnya setelah tidak terjadi hujan hasil bacaan *v-notch* kembali kecil, hal ini menunjukkan hasil bacaan bukan berasal dari rembesan bendungan.

3.1.6 Stabilitas Lereng

Menurut (Hanan et al., 2014), Stabilitas suatu bendungan harus dipenuhi untuk menjamin keamanan bendungan terhadap bahaya pelimpahan (*overtopping*), kebocoran, rembesan, longsoran, erosi, dan retakan. Analisis stabilitas lereng bendungan dilakukan untuk mengetahui tingkat keamanan

bandungan terhadap kelongsoran pada berbagai kondisi, baik tanpa gempa maupun dengan gempa. Hasil analisis stabilitas lereng Bendungan Tilong dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Faktor Keamanan Lereng Bendungan Tilong untuk tiap Pembebanan

No	Pembebanan	Kondisi	Faktor Keamanan		FK Min	Keterangan	
			Upstream	Downstream		Upstream	Downstream
1	Tanpa Gempa	Akhir Konstruksi	3,14	2,97	1,3	Aman	Aman
		Muka Air Normal	3,47	2,78	1,5	Aman	Aman
		Surut Cepat Muka Air Normal - Muka Air Minimum	2,71	2,93	1,3	Aman	Aman
2	Gempa OBE	Akhir Konstruksi	2,05	2,04	1,2	Aman	Aman
		Muka Air Normal	1,22	1,45	1,2	Aman	Aman
		Surut Cepat Muka Air Normal - Muka Air Minimum	1,25	1,53	1,1	Aman	Aman
3	Gempa MDE	Akhir Konstruksi	1,26	1,31	1,0	Aman	Aman
		Muka Air Normal	0,59	0,79	1,0	Tidak Aman	Tidak Aman
		Surut Cepat Muka Air Normal - Muka Air Minimum	0,59	0,81	1,0	Tidak Aman	Tidak Aman

Sumber : (PT. Ika Adya Perkasa, 2021)

Dari hasil analisis didapat nilai FK beban gempa MDE pada kondisi muka air normal dan surut cepat tidak aman, sehingga dilakukan analisis dinamis dengan kriteria maksimum alihan tetap yang terjadi kurang dari 50% tinggi jagaan. Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai penurunan puncak yang terjadi sebesar 1,06 m atau masih dibawah kriteria yang diijinkan 2,6 m. Sehingga dapat diartikan Bendungan Tilong kondisi eksisting masih aman terhadap beban gempa OBE dan MDE.

3.2 Faktor Kerawanan Total dan Kepentingan Awal Bendungan Tilong

Data teknis Bendungan Tilong digunakan sebagai dasar dalam penentuan faktor kerawanan total. Kompilasi data teknis yang digunakan dalam penentuan faktor kerawanan total dan faktor bencana dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Faktor Kerawanan Total dan Faktor Bencana Bendungan Tilong

Parameter	Nilai	Bobot
Tinggi Bendungan (<i>I1</i>)	44,50 m	10
Tipe Bendungan (<i>I2</i>)	UB	4
Tipe Pondasi (<i>I3</i>)	Batu (BT)	1
Kapasitas Waduk (<i>I4</i>)	19,07 juta m ³	6
Umur Bendungan (<i>E1</i>)	21 tahun	8
Kegempaan (<i>E2</i>)	VIII MMI	8
Pelimpah (<i>D1</i>)	SC>R	2
Stabilitas Bendungan (<i>D2</i>)	FK>R	1
Kelas Risiko (<i>H</i>)	High	10

Dengan menggunakan bobot tiap parameter dan dimasukkan kedalam Persamaan (1) maka didapat nilai faktor kerawanan total (V) sebesar 63. Selanjutnya dengan mengkombinasikan nilai V terhadap faktor bencana (H) sebesar 10 sesuai pada Persamaan (2), maka akan diperoleh nilai I_{dam} sebesar 630.

3.3 Kondisi Inspeksi Bendungan Tilog (*Condition Function*)

Bobot tiap-tiap parameter dalam 9 (sembilan) daftar isian kondisi fisik lapangan diperoleh dari analisa hasil pengamatan visual inspeksi besar maupun analisa lain yang berkaitan. Penentuan bobot kondisi inspeksi Bendungan Tilog dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Kondisi Fisik Inspeksi Bendungan Tilog

No	Parameter Inspeksi	Bobot
1	Penghalang pada saluran pelimpah (CF_1)	9
2	Tinggi Jagaan (CF_2)	9
3	Penghalang pada saluran pengeluaran di bagian bawah bendungan (CF_3)	9
4	Erosi pada saluran pelimpah (CF_4)	9
5	Material pelindung permukaan bendungan (CF_5)	8
6	Erosi buluh pada tubuh bendungan (CF_6)	7
7	Erosi buluh pada fondasi bendungan (CF_7)	7
8	Longsoran pada bendungan urugan (CF_8)	7
9	Longsoran pada bendungan dan fondasinya (CF_9)	7

3.4 Indeks Risiko Total dan Nilai Keamanan Bendungan Tilog

Nilai indeks risiko total diperoleh menggunakan persamaan (4) dan (5) dengan mengkombinasikan faktor kepentingan relatif dan kondisi fisik inspeksi (CF_j) pada Tabel 13. Dari hasil perhitungan didapat nilai IR_{tot} adalah sebesar 116,55 atau secara rinci dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Penilaian faktor kepentingan relatif dan indeks risiko tiap bentuk kegagalan

No	Bentuk Kegagalan	Prob. Kegagalan P [C_j] [Mi]	Prob. Kondisi Fisik P [Mi] [F]	Indeks Penentu Relatif RIj	Bobot CFj	Indeks Risiko ke-j IRj = RIj (10- CFj)/10
1	Limasan (<i>Overtopping</i>)	0,49	0,3	92,61	9	9,26
			0,1	30,87	9	3,09
			0,6	185,22	9	18,52
2	Erosi Eksternal	0,10	0,7	44,10	9	4,41
			0,3	18,90	8	3,78
3	Erosi Buluh	0,32	0,7	141,12	7	42,34
			0,3	60,48	7	18,14
4	Stabilitas Lereng	0,09	0,5	28,35	7	8,51
			0,5	28,35	7	8,51

Selanjutnya dapat dilakukan perhitungan nilai keamanan bendungan (N_{aman}) menggunakan persamaan (6). Dengan menggunakan nilai I_{dam} dan IR_{tot} yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya maka akan didapat N_{aman} sebesar 81,5. Berdasarkan klasifikasi tingkat keamanan bendungan pada Tabel 10, Bendungan Tilog termasuk kedalam kondisi memuaskan. Hal ini dapat diartikan

Bendungan Tilong dikategorikan aman terhadap beban normal dan kondisi beban luar biasa (banjir desain dan gempa desain), sehingga tidak diperlukan tindak lanjut.

4. Kesimpulan

Penilaian risiko Bendungan Tilong telah dilakukan dengan menggunakan hasil inspeksi berdasarkan Laporan Pemeriksaan Besar Bendungan Tilong tahun 2020. Hasil perhitungan faktor tingkat kepentingan awal (I_{dam}), indeks risiko total (IR_{tot}), dan nilai keamanan bendungan (N_{aman}) berturut-turut sebesar 630, 116,55, dan 81,5. Nilai N_{aman} yang didapat termasuk kedalam klasifikasi memuaskan (>75). Dari klasifikasi kategori keamanan tersebut dapat disimpulkan bahwa Bendungan Tilong aman dan tidak memerlukan tindak lanjut pengurangan risiko. Namun, tetap disarankan untuk terus melakukan pemantauan keamanan secara rutin dan berkala untuk menghindari risiko yang sewaktu-waktu dapat terjadi.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penulisan makalah ini.

Daftar Pustaka

- Adamo, N., Al-Ansari, N., Laue, J., Knutsson, S., & Sissakian, V. (2017). Risk Management Concepts in Dam Safety Evaluation: Mosul Dam as a Case Study. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11(7). <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2017.07.002>
- 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. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2001\)127:4\(325\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:4(325))
- Budiman, R. (2022). *Studi Efektifitas Remedial Work Project dalam Menurunkan Risiko Kegagalan Bendungan (Studi Kasus : Pekerjaan PPIO 9 Bendungan di WS Bengawan Solo)*.
- Cristina Dwi Y, Juwono, P. T., & Yuliani, E. (2016). Analisis Probabilitas Risiko Kegagalan Bendungan Gerokgak Berdasarkan Metode Pohon Kejadian (Event Tree). *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(1), 7–16. <https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/view/248/252>
- FEMA. (2004). *Federal Guidelines for Dam Safety*. April, 63. <https://www.ferc.gov/sites/default/files/2020-04/fema-333.pdf>
- Hanan, Z. R., Juwono, P. T., & Anggara, W. W. S. (2014). Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede Dengan Parameter Gempa Termodifikasi. In *Jurnal Universitas Brawijaya* (Vol. 1, Issue Universitas Brawijaya, p. 1).
- Ishbaev, A., Pandjaitan, N. H., & Erizal, E. (2014). Evaluation of Jatiluhur Dam Safety Based on Risk Index Tools. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 4(2), 111–118. <https://doi.org/10.19081/jpsl.2014.4.2.111>
- Kementerian PUPR. (2015). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No.27/PRT/M/2015 tentang Bendungan. *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 No. 771, Jakarta*.
- Prasad, R., & Dixit, M. (2019). Instrumentation and Monitoring of Dams and Reservoirs. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 6(10), 63–67.

- PT. Ika Adya Perkasa. (2021). Laporan Pemeriksaan Besar Bendungan Tilong. *Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, Kupang*.
- 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. *The Second Interbational Conference on Suistanable Infrastructure and Built Environment - Bandung 19-20 November 2013, November*.
- Soetjiono, C. (2018). Perilaku dan keamanan Bendungan Manggar, Kalimantan Timur. *Jurnal Sumber Daya Air*, 6(2), 189–204.
- Suprpto, R. E., Japarussidik, J., Sriyana, S., & Sadono, K. W. (2021). Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko. *Teknik*, 42(2), 226–235. <https://doi.org/10.14710/teknik.v42i2.39715>