

## Penilaian Risiko Bendungan Pelaparado Berbasis Metode Modifikasi ICOLD dan Metode Indeks Risiko

Rachdian Eko Suprpto<sup>1\*</sup>, Japarussidik<sup>2</sup>, Sriyana<sup>3</sup>, Kresno Wikan Sadono<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat  
Jl. A.A Maramis, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia 95111

<sup>2</sup> Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat  
Jl. Ahmad Yani No. 1, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia 83239

<sup>3</sup> Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

### Abstrak

Penilaian risiko bendungan terdiri dari analisis risiko dan evaluasi risiko sebagai salah satu bentuk kegiatan operasi, pemeliharaan dan pemantauan bendungan. Penelitian bertujuan untuk melakukan penilaian risiko pada Bendungan Pelaparado di Desa Pela, Kecamatan Monta, Kabupaten Bima, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Bendungan Pelaparado merupakan jenis bendungan urugan batu dengan inti kedap di tengah. Penilaian risiko bendungan pada penelitian menggunakan metode modifikasi ICOLD dan metode indeks risiko. Metode modifikasi ICOLD didasarkan pada hasil inspeksi lapangan, evaluasi desain bendungan, evaluasi pengelolaan keamanan bendungan dan identifikasi dampak kegagalan bendungan terhadap daerah hilir. Metode indeks risiko didasarkan pada pembobotan perhitungan empiris parameter bentuk kegagalan dari hasil inspeksi lapangan, desain bendungan dan analisis potensi bencana. Hasil penilaian risiko merupakan dasar pertimbangan dalam penentuan prioritas pemeliharaan untuk mencegah peningkatan potensi kegagalan bendungan. Hasil penelitian menunjukkan Bendungan Pelaparado memiliki nilai risiko sebesar 67 dengan kategori risiko “tinggi”, nilai indeks risiko total sebesar 227,56 dan nilai keamanan 72,91 dengan klasifikasi keamanan “cukup”, sehingga Bendungan Pelaparado aman terhadap beban normal tetapi kemungkinan kurang aman terhadap banjir desain dan gempa desain.

**Kata kunci:** bendungan urugan; indeks risiko; inspeksi lapangan; modifikasi ICOLD; pemeliharaan

### Abstract

**[Title: Risk Assessment of Pelaparado Dam Based on Modified ICOLD Method and Risk Index Method]**  
Dam risk assessment consists of risk analysis and risk evaluation as one of dam operation, maintenance and monitoring activities. This study aims to assess the risk of Pelaparado Dam in Pela Village, Monta District, Bima Regency, West Nusa Tenggara Province. Pelaparado Dam is rockfill embankment dam type with a central impermeable core. Dam risk assessment in this study using modified ICOLD method and risk index method. ICOLD modification method based on the results of field inspections, evaluation of dam design, evaluation of dam safety management and identification of the impact from dam failure on the downstream area. Risk index method based on weighted empirical calculation of the failure mode parameters resulting from site inspections, dam design evaluation and potential disasters analysis. The results of risk assessment are the basis consideration to determining priority maintenance to prevent increasing potential dam failures. The result of this study shows that Pelaparado Dam has a risk value of 67 with “high” risk category, a total risk index value of 227,56 and a safety value of 72,91 with “enough” safety classification, so Pelaparado Dam is safe against normal load but possibility less secure against design floods and design earthquakes.

---

<sup>\*)</sup> Penulis Korespondensi.  
E-mail: rachdian2804@gmail.com

**Keywords:** embankment dam; risk index; site inspection; modified ICOLD; maintenance

## 1. Pendahuluan

Bendungan selain memiliki beragam manfaat juga memiliki potensi bencana yang sangat besar apabila mengalami kegagalan. Kegagalan bendungan akan menimbulkan bencana dahsyat berupa banjir besar sebagai ancaman nyata bagi kehidupan masyarakat terutama di hilir bendungan. Kegagalan (*failure*) bendungan adalah runtuh atau pergerakan bagian bendungan atau fondasinya sehingga bendungan tidak mampu menahan air, kejadian (*incident*) adalah semua permasalahan pada bendungan tetapi tidak berujung pada kegagalan, sementara kecelakaan (*accident*) adalah malfungsi struktur yang dapat berkembang menjadi insiden atau bahkan kegagalan tetapi bisa dicegah dengan penanganan yang tepat (ICOLD, 1995 dalam Duricic, 2014). Upaya pencegahan kegagalan bendungan dilakukan berdasarkan konsepsi keamanan bendungan yaitu (1) keamanan struktural; (2) operasi, pemeliharaan dan pemantauan; dan (3) kesiapsiagaan tindak darurat (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Salah satu komponen keamanan bendungan adalah kegiatan pemeliharaan dengan tujuan optimalisasi pendayagunaan air dan daya air serta menjaga keamanan bendungan.

Alokasi anggaran kegiatan pemeliharaan bendungan di Indonesia dialokasikan pada kegiatan operasi dan pemeliharaan (OP) dengan kondisi anggaran untuk pemeliharaan sangat terbatas (Soentoro *dkk.*, 2013). Penilaian risiko terdiri dari analisis dan evaluasi risiko, sehingga dapat digunakan untuk menentukan prioritas pemeliharaan bendungan sebagai efisiensi dalam kondisi keterbatasan anggaran. Menurut *International Commission on Large Dams* (ICOLD) dalam Soentoro *dkk.* (2013), metode penilaian risiko bendungan dibedakan menjadi 3 metode, yaitu metode standar, metode kualitatif dan metode kuantitatif. Metode standar secara eksplisit tidak langsung menyelesaikan analisis risiko. Pertimbangan risiko didasarkan potensi bencana alam dari bendungan, dampak kegagalan bendungan, beban desain dan koefisien keamanan. Metode kualitatif menjelaskan pertimbangan risiko yang lebih eksplisit dibandingkan metode standar, tetapi tidak menyatakan ketidaktentuan pada suatu bentuk probabilitas. Cara paling sederhana adalah dengan skema penentuan indeks dan peringkat yang membutuhkan pertimbangan keamanan dan konsekuensi kegagalan bendungan. Metode kuantitatif terdiri dari metode analisis kenyataan, simulasi monte carlo dan metode integrasi penuh. Analisis risiko kuantitatif membutuhkan identifikasi lengkap terhadap kondisi fisik dan kondisi alam yang akan menjelaskan respon bendungan, serta daftar lengkap mekanisme kegagalan.

Metode modifikasi ICOLD diadaptasi dari metode ICOLD tahun 1989 mengenai pemilihan parameter kegunaan bendungan besar. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (Ditjen SDA) Kementerian Pekerjaan Umum

dan Perumahan Rakyat (PUPR) melakukan kegiatan penilaian risiko bendungan pada tahun 2008 menggunakan metode ICOLD dengan beberapa modifikasi untuk disesuaikan kondisi aktual bendungan di Indonesia. Metode modifikasi ICOLD terfokus dengan kelemahan dalam desain dan risiko bencana di hilir bendungan. Penilaian risiko didasari hasil inspeksi bendungan, informasi desain dan konstruksi dalam perhitungan kepentingan bendungan, laporan pemantauan bendungan, laporan penyelidikan dan laporan inspeksi yang pernah dilakukan sebelumnya, serta diskusi dengan petugas pengelola bendungan dalam penilaian faktor tambahan bendungan dan perhitungan faktor defisiensi struktur bendungan (Indrawan *dkk.*, 2013). Metode indeks risiko merupakan metode untuk membuat skala prioritas pemeliharaan, perbaikan dan evaluasi bendungan dengan keterbatasan data instrumentasi, data konstruksi dan riwayat performa bendungan (Otani, 2014 dalam Ishbaev *dkk.*, 2014). Menurut Andersen *dkk.* (2001), metode indeks risiko menghasilkan indikasi tingkat potensi risiko berkaitan dengan kegagalan bendungan. Risiko adalah kerusakan pada tingkat tertentu atau kondisi bendungan yang dibebani seluruh kepentingan keamanan bendungan dan kerentanan potensi bencana. Metode indeks risiko digunakan oleh Pusat penelitian dan pengembangan Sumber Daya Air (Puslitbang SDA) pada tahun 2006 untuk menilai tingkat keamanan beberapa bendungan urugan di Pulau Jawa.

Bendungan Pelaparado membendung aliran Sungai Parado di Pulau Sumbawa bagian Timur. Secara administratif Bendungan Pelaparado terletak di Desa Pela, Kecamatan Monta, Kabupaten Bima, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Bendungan Pelaparado merupakan tipe bendungan urugan batu zonal dengan inti kedap air tegak di tengah. Tinggi maksimum bendungan 61 m dengan volume tampungan total sebesar 18 juta m<sup>3</sup>. Menurut Japarussidik (2002), terdapat beberapa kendala pelaksanaan konstruksi terutama berkaitan adanya zona lemah fondasi dan ketersediaan material timbunan. Kondisi tersebut mengakibatkan adanya perubahan zonasi bendungan, investigasi tambahan, reviu desain stabilitas bendungan dan perpanjangan waktu konstruksi hingga Oktober 2004. Konstruksi Bendungan Pelaparado selesai dan memasuki tahap penggenangan awal (*initial impounding*) waduk pada Juni 2004.

Kajian operasi dan pemeliharaan berkala Bendungan Pelaparado melalui inspeksi besar dilaksanakan pada 2008 dan 2018. Evaluasi hasil inspeksi besar harus ditindaklanjuti sehingga permasalahan diharapkan tidak muncul pada pemeriksaan selanjutnya. Peningkatan status keamanan bendungan secara berkala sangat penting namun sering tidak dijadikan prioritas di lapangan. Terbatasnya dana pemeliharaan bendungan mengharuskan pengelola menentukan prioritas pemeliharaan dengan memaksimalkan hasil investigasi rutin dan berkala. Penelitian bertujuan untuk melakukan



Gambar 1. Diagram alir metode modifikasi ICOLD

penilaian risiko Bendungan Pelaparado berdasarkan metode modifikasi ICOLD dan metode indeks risiko sebagai dasar rekomendasi prioritas pemeliharaan bendungan.

2. Bahan dan Metode

Penilaian risiko pada penelitian didasarkan pada kajian hasil inspeksi besar Bendungan Pelaparado tahun 2018. Inspeksi besar tersebut termasuk dalam kegiatan *Dam Operational Improvement and Safety Project Phase II (DOISP-II)* di lingkungan kerja Balai Wilayah Sungai (BWS) Nusa Tenggara 1. Data-data lain sebagai parameter input dalam analisis risiko mencakup informasi desain dan konstruksi, laporan pemantauan dan pemeliharaan, evaluasi keamanan bendungan terdahulu, kajian peta zonasi gempa Indonesia 2017, data historis bencana Kabupaten Bima dan kajian kondisi sosio-ekonomi di hilir Bendungan Pelaparado.

Metode modifikasi ICOLD menentukan nilai kelas risiko total dan nilai kelas risiko untuk penurunan kinerja bendungan (defisiensi) akibat stabilitas statis, kapasitas banjir dan beban gempa dengan mengacu pada penilaian metode modifikasi ICOLD dari *Sinotech Engineering Consultants, LTD (2013)*. Kriteria penilaian risiko metode ini dibagi menjadi 2 faktor yaitu faktor utama dan faktor tambahan. Diagram alir penilaian risiko metode dengan modifikasi ICOLD dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Penentuan kategori risiko bendungan

Tabel 1. Kategori risiko metode modifikasi ICOLD

| Nilai   | Kategori |
|---------|----------|
| 0 - 15  | Rendah   |
| 16 - 45 | Sedang   |
| 46 - 75 | Tinggi   |
| 76 - 90 | Ekstrem  |

berdasarkan metode modifikasi ICOLD ditunjukkan pada Tabel 1.

Metode indeks risiko memerlukan beberapa parameter untuk penilaian risiko dengan hasil akhir peringkat indeks risiko dan status keamanan bendungan. Penentuan batas nilai masing-masing parameter pada metode indeks risiko mengacu pada penilaian metode indeks risiko dari Puslitbang SDA (2006) dan Andersen *dkk.* (2001). Beberapa parameter yang dibutuhkan dalam penentuan indeks risiko bendungan, yaitu:

a. Faktor kerawanan total

Menurut Ishbaev *dkk.* (2014), faktor kerawanan total adalah kemampuan bendungan untuk menahan kerusakan yang diakibatkan oleh alam atau kepekaan bendungan terhadap bencana alam. Menurut Andersen *dkk.* (2001), perhitungan faktor kerawanan total bendungan dilakukan dengan Persamaan 1.

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

Dimana V adalah faktor kerawanan total;  $I_1$  adalah faktor kondisi intrinsik pengaruh tinggi bendungan;  $I_2$  adalah faktor kondisi intrinsik pengaruh tipe bendungan;  $I_3$  adalah faktor kondisi intrinsik pengaruh tipe fondasi;  $I_4$  adalah faktor kondisi intrinsik pengaruh kapasitas waduk;  $E_1$  adalah faktor eksternal pengaruh umur;  $E_2$  adalah faktor eksternal pengaruh keempaan;  $D_1$  adalah faktor kecukupan pelimpah;  $D_2$  adalah faktor kecukupan kestabilan lereng

b. Faktor kepentingan awal

Faktor tingkat kepentingan awal bendungan merupakan hasil perkalian antara bobot faktor kerawanan total dengan bobot faktor bencana. Menurut Andersen *dkk.* (2001), perhitungan faktor kepentingan awal bendungan dilakukan dengan Persamaan 2.

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

Dimana  $I_{dam}$  adalah faktor tingkat kepentingan awal; V adalah faktor kerawanan total; dan H adalah faktor potensi bencana

c. Faktor kepentingan relatif

Penentuan kepentingan relatif membutuhkan parameter probabilitas kondisional ragam kegagalan dan probabilitas kondisi fisik tertentu. Menurut Indrawan *dkk.* (2013), kedua parameter tersebut sangat sulit diperoleh karena terbatasnya data kegagalan bendungan di

**Tabel 2.** Klasifikasi kondisi keamanan bendungan berdasarkan metode indeks risiko

| Nilai keamanan<br>( $N_{aman}$ ) | Klasifikasi      |
|----------------------------------|------------------|
| >75                              | Memuaskan        |
| 65 - 75                          | Cukup            |
| 55 - 64                          | Kurang Memuaskan |
| <55                              | Tidak Memuaskan  |

Indonesia. Menurut Andersen *dkk.* (2001), perhitungan faktor kepentingan relatif dilakukan dengan Persamaan 3.

$$RI_j = P[MiIF] \times P[CjIMi] \times I_{dam} \quad (3)$$

Dimana  $RI_j$  adalah faktor kepentingan relatif kondisi fisik ke  $j$ ;  $P[MiIF]$  adalah probabilitas kondisional kegagalan ke  $i$ ; dan  $P[CjIMi]$  adalah probabilitas kondisional kondisi fisik ke  $j$ .

d. Indeks risiko

Menurut Andersen *dkk.* (2001), perhitungan indeks risiko kondisi fisik dan indeks risiko total dilakukan dengan Persamaan 4.

$$IR_j = RI_j \times (10 - CF_j) / 10$$

$$IR_{tot} = \sum IR_j \quad (4)$$

Dimana  $RI_j$  adalah faktor kepentingan relatif dari kondisi fisik ke  $j$ ;  $CF_j$  adalah bobot kondisi lapangan ke  $j$ ;  $IR_j$  adalah indeks risiko dari kondisi fisik ke  $j$ ; dan  $IR_{tot}$  adalah indeks risiko total.

e. Nilai keamanan bendungan

Menurut Andersen *dkk.* (2001), perhitungan nilai keamanan bendungan dilakukan dengan Persamaan 5.

$$N_{aman} = [(I_{dam} - IR_{tot}) / I_{dam}] \times 100 \quad (5)$$

Dimana  $N_{aman}$  adalah nilai keamanan bendungan;  $I_{dam}$  adalah faktor tingkat kepentingan awal; dan  $IR_{tot}$  adalah indeks risiko total.

Klasifikasi nilai keamanan berdasarkan metode indeks risiko dapat dilihat pada Tabel 2. Diagram alir penilaian risiko metode indeks risiko dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Tahap awal pengumpulan data bendungan sebagai parameter masukan disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing metode penilaian risiko. Metode modifikasi ICOLD membutuhkan data teknis bendungan dan kajian kondisi hilir bendungan sebagai penentuan tingkat kepentingan bendungan. Metode indeks risiko membutuhkan parameter data teknis sebagai penilaian faktor kerawanan total dan faktor kepentingan awal bendungan. Penilaian tingkat kepentingan pada metode modifikasi ICOLD ditunjukkan pada Tabel 3. Penilaian

**Tabel 3.** Parameter penentuan tingkat kepentingan Bendungan Pelaparado metode modifikasi ICOLD

| Parameter                                | Kuantitas | Nilai Risiko |
|--|-----------|--------------|
| Kapasitas waduk (juta $m^3$ )            | 18        | 4            |
| Tinggi bendungan (m)                     | 61        | 6            |
| Penduduk di evakuasi (jumlah orang)      | 26.180    | 8            |
| Potensi kerusakan hilir                  | Tinggi    | 12           |
| Risiko bisnis akibat kegagalan bendungan | Tinggi    | 6            |

faktor kerawanan total dan kepentingan awal pada metode indeks risiko ditunjukkan pada Tabel 4.

Pengumpulan data selanjutnya dilakukan melalui kegiatan inspeksi lapangan dan kegiatan kajian dokumen tambahan. Inspeksi lapangan bertujuan untuk mengidentifikasi perkembangan kondisi aktual dan masalah struktural yang muncul ataupun berkembang di bendungan serta bangunan pelengkap. Inspeksi lapangan mencakup inspeksi visual struktur, pengujian fungsi dan pemeriksaan kelengkapan perangkat utama dan perangkat pendukung. Kerusakan tubuh bendungan terjadi pada batuan rip-rap sebagai pelindung lereng di hulu dan hilir bendungan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Defisiensi hidromekanikal terkait kondisi fisik dan fungsi peralatan ditemukan di bangunan pengambilan (*intake*) dan bangunan pengeluaran (*outlet*), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

Defisiensi struktur terjadi pada terowongan galeri di sandaran kiri bendungan. Terowongan terendam air rembesan. Kondisi tersebut menyebabkan korosi pada *steel support* terowongan, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Defisiensi pada sistem instrumentasi keamanan bendungan dapat dilihat pada Gambar 6. Ringkasan hasil inspeksi lapangan Bendungan Pelaparado selama kegiatan inspeksi besar tahun 2018 dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan hasil inspeksi lapangan dan pengecekan data tambahan, identifikasi masalah pada metode modifikasi ICOLD digunakan pada tahap penilaian faktor tambahan dan faktor defisiensi struktur. Pengecekan data tambahan terkait pengelolaan keamanan dan dampak kegagalan bendungan terhadap kondisi di hilir merupakan ciri khas dari metode ICOLD dan tidak dipertimbangkan pada metode indeks risiko. Defisiensi struktur pada metode modifikasi ICOLD dibedakan berdasarkan 3 penyebab, yaitu faktor stabilitas statis, faktor kapasitas banjir dan faktor ketahanan gempa bumi atau beban seismik. Keterbatasan zona lemah dengan daya dukung relatif lebih lemah dari jenis fondasi lain menjadi ciri khas fondasi Bendungan Pelaparado. Kondisi tersebut sudah diperbaiki dengan konstruksi *wedge concrete, grouting* dan saluran drainase khusus. Regional Bendungan Pelaparado berada pada daerah intensitas gempa tinggi tetapi tidak dilengkapi dengan instrumentasi perilaku bendungan terhadap gempa bumi. Hasil penilaian

**Tabel 4.** Parameter penilaian faktor kerawanan total dan faktor kepentingan awal Bendungan Pelaparado dengan metode indeks risiko

| Parameter                              | Nilai                  | Nilai Bobot |
|--|------------------------|-------------|
| Tinggi ( $I_1$ )                       | 61                     | 10          |
| Tipe bendungan ( $I_2$ )               | Batu (UB)              | 4           |
| Fondasi ( $I_3$ )                      | Batu (BT)              | 1           |
| Kapasitas waduk ( $I_4$ )              | 18 juta m <sup>3</sup> | 6           |
| Umur ( $E_1$ )                         | 14 tahun*              | 8           |
| Kegempaan ( $E_2$ )                    | VIII MMI               | 8           |
| Kecukupan kapasitas pelimpah ( $D_1$ ) | SC>R                   | 1           |
| Kecukupan faktor keamanan ( $D_2$ )    | FK>R                   | 1           |
| Faktor bencana (H)                     | Tinggi                 | 10          |

SC>R: Kapasitas pelimpah>kebutuhan, FK>R: FK terhadap keruntuhan lereng melebihi persyaratan,\* Inspeksi besar 2018

defisiensi struktur Bendungan Pelaparado dengan metode modifikasi ICOLD ditunjukkan pada Tabel 6.

Dokumen tambahan yang dikaji dalam inpeksi bendungan berkaitan dengan laporan pelaksanaan operasi dan pemeliharaan; hasil pemantauan instrumentasi keamanan bendungan; tindak lanjut tinjauan lapangan sebelumnya; perkembangan kondisi di hilir bendungan; serta data-data lain yang berkaitan dengan keamanan bendungan. Hasil penilaian pengelolaan keamanan Bendungan Pelaparado berdasarkan metode modifikasi ICOLD ditunjukkan pada Tabel 7.

Metode indeks risiko menggunakan hasil inspeksi lapangan pada bendungan dan struktur pelengkapny sebagai parameter penilaian bentuk kegagalan, penilaian faktor kepentingan relatif dan indeks risiko tiap bentuk kegagalan. Menurut Azdan & Samekto (2008), penyebab kegagalan dan kerusakan bendungan urugan di Indonesia diakibatkan erosi buluh (*piping*), retakan, longsoran, peluapan (*overtopping*) dan gempa bumi. Bentuk kegagalan metode indeks risiko dikelompokkan menjadi 4 yaitu peluapan (*overtopping*), erosi permukaan, erosi buluh (*piping*) dan stabilitas lereng.

Berdasarkan penilaian faktor utama, faktor tambahan dan defisiensi struktur, selanjutnya dijumlahkan seluruh faktor tersebut untuk mengetahui hasil evaluasi risiko bendungan berupa kategori bendungan berdasarkan metode modifikasi ICOLD. Hasil penilaian risiko Bendungan Pelaparado berdasarkan metode modifikasi ICOLD mendapatkan total nilai 67 sehingga termasuk kategori risiko “tinggi”, seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

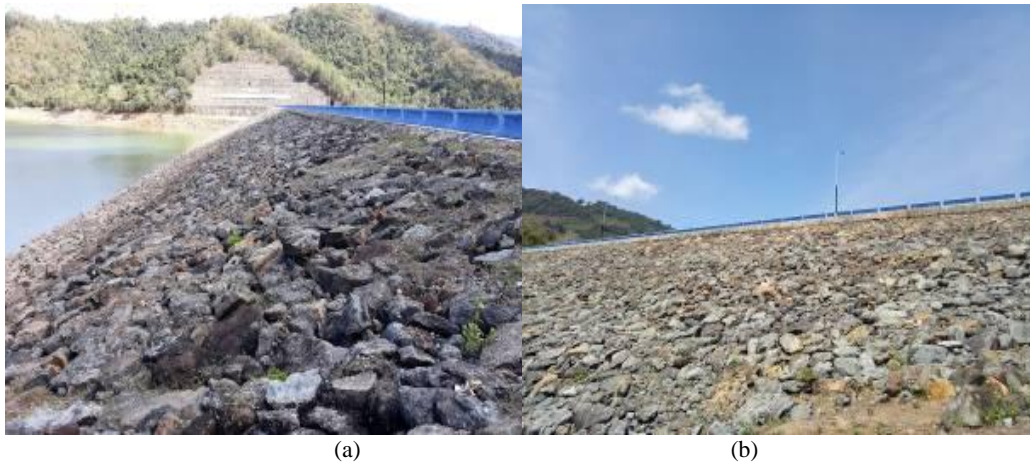
Tahap akhir penilaian risiko berdasarkan metode indeks risiko adalah penjumlahan seluruh indeks risiko tiap parameter mode kegagalan dan perhitungan untuk mendapatkan nilai keamanan bendungan. Berdasarkan kategori nilai keamanan selanjutnya dapat dievaluasi kriteria pembebanan pada bendungan dan rekomendasi



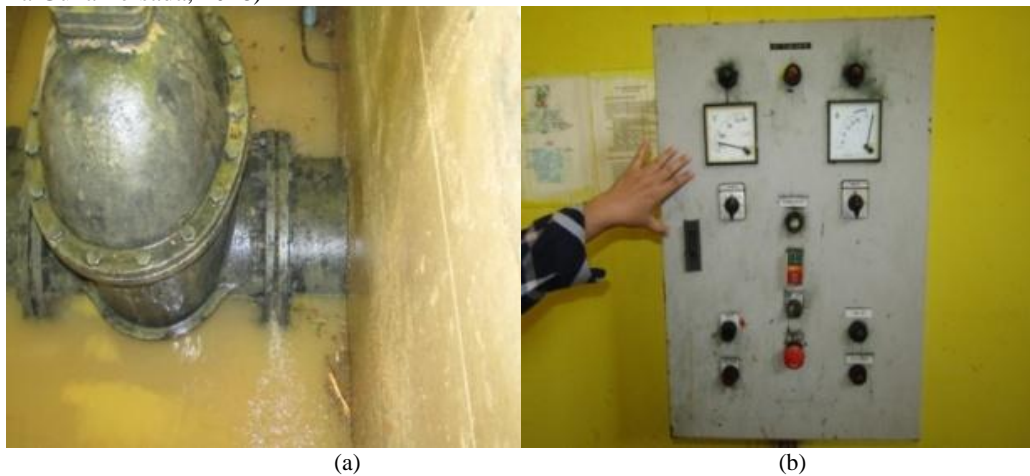
**Gambar 2.** Diagram alir metode indeks risiko

tindakan yang diperlukan. Hasil penilaian risiko Bendungan Pelaparado berdasarkan metode indeks risiko mendapatkan nilai indeks risiko total ( $IR_{tot}$ ) yaitu 227,56. Faktor kepentingan awal ( $I_{dam}$ ) Bendungan Pelaparado adalah 840. Hasil perhitungan nilai keamanan Bendungan Pelaparado adalah 72,91 sehingga termasuk klasifikasi keamanan “cukup”. Hasil penilaian risiko berdasarkan metode indeks risiko dapat dilihat pada Tabel 9.

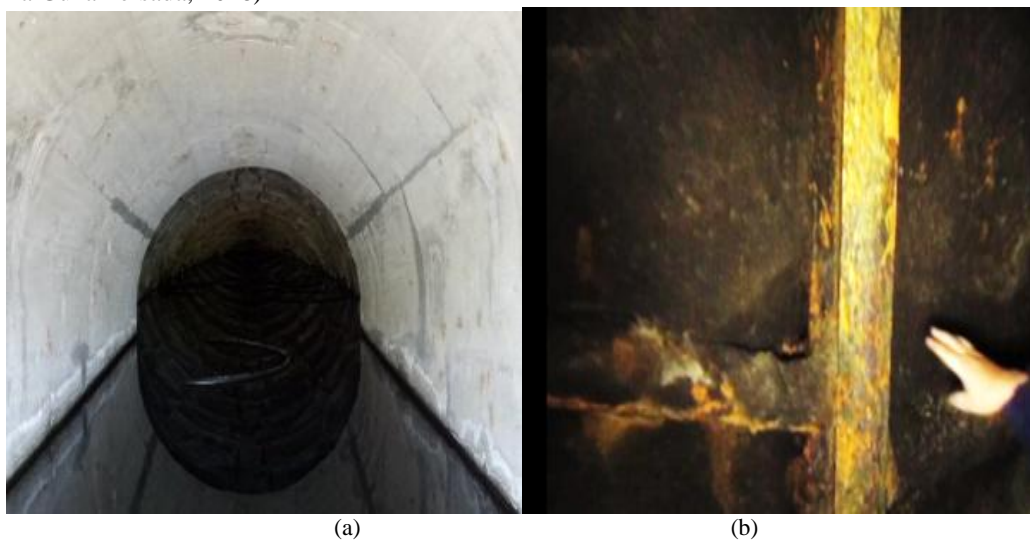
Berdasarkan hasil penilaian risiko, diperlukan tindak lanjut evaluasi risiko bendungan untuk mencegah sumber bahaya berkembang hingga potensi kegagalan bendungan semakin meningkat. Bendungan dengan klasifikasi keamanan “cukup” memiliki kriteria aman terhadap beban normal, tetapi kemungkinan kurang aman terhadap banjir desain dan gempa desain sehingga diperlukan analisis untuk memastikan dapat tidaknya waduk beroperasi seperti biasa (Ishbaev *dkk.*, 2014). Rekomendasi prioritas penanganan permasalahan yang teridentifikasi dapat dibedakan menjadi aspek perbaikan fisik, aspek peningkatan manajemen OP bendungan dan aspek investigasi khusus.



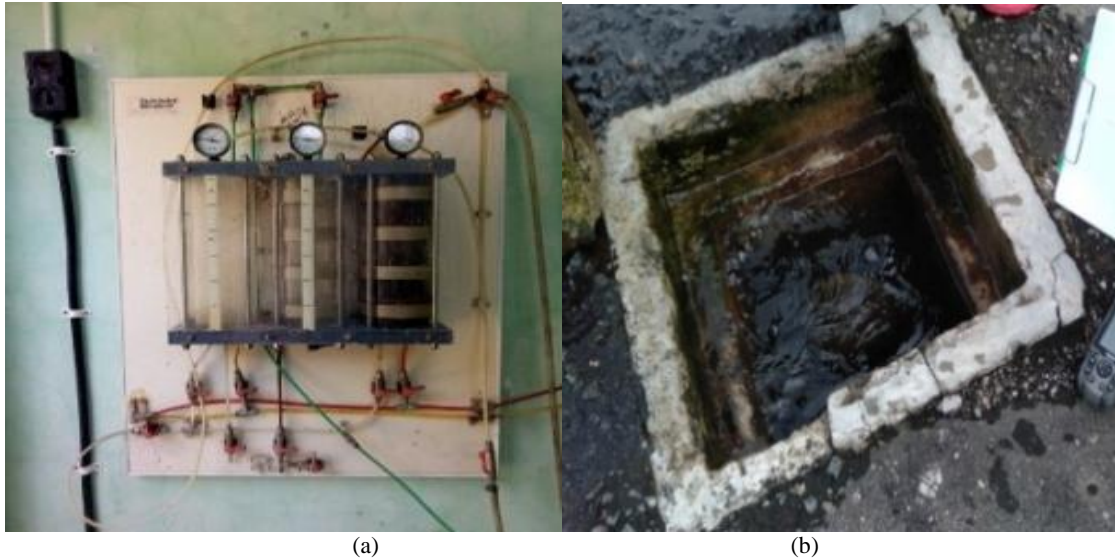
**Gambar 3.** Hasil inspeksi lapangan pelapukan sedang-berat batuan rip-rap pelindung: (a) lereng hulu; (b) lereng hilir (PT Caturbina Guna Persada, 2018)



**Gambar 4.** (a) *Rubber seal* di *guard valve outlet* bocor; (b) Panel kontrol *jet flow gate outlet* rusak (PT Caturbina Guna Persada, 2018)



**Gambar 5.** (a) Terowongan galeri terendam air; (b) Korosi cukup berat pada *steel support* tipe C terowongan galeri (PT Caturbina Guna Persada, 2018)



Gambar 6. (a) Tangki hidraulik pisometer kering; (b) *Multilayer settlement* sudah rusak serta terendam air (PT Caturbina Guna Persada, 2018)

Tabel 5. Ringkasan hasil inspeksi lapangan Bendungan Pelaparado

| Komponen                    | Kondisi   |
|-----------------------------|---|
| <b>Bendungan Utama</b>      |   |
| Puncak bendungan            | • Perkerasan puncak dan parapet dalam kondisi baik  |
| Pelindung lereng hulu       | • Pelapukan sedang-berat sehingga rip-rap hancur dan mengalami penurunan lokal  |
| Pelindung lereng hilir      | • Pelapukan sedang-berat sehingga rip-rap hancur dan mengalami penurunan lokal  |
| Tebing tumpuan kiri         | • Tidak ada gejala longsor  |
| Tebing tumpuan kanan        | • Tidak ada gejala longsor  |
| Area Waduk                  | • Tidak ada penyimpangan pemanfaatan serta <i>trashboom</i> berada pada posisinya   |
| <b>Bangunan Pelimpah</b>    | • Struktur mercu, lantai saluran peluncur, saluran pengarah dan kolam olak dalam kondisi baik dan tidak ditemukan indikasi kerusakan ataupun tumpukan sampah  |
| <b>Bangunan Pengambilan</b> |   |
| Bangunan                    | • Bangunan dalam kondisi baik   |
| Hidromekanical              | • Kabel <i>power</i> menuju panel kontrol <i>maintenance gate</i> rusak/tidak dapat berfungsi   |
| <b>Bangunan Pengeluaran</b> |   |
| Bangunan                    | • Bangunan dalam kondisi baik   |
| Hidromekanical              | • Terdapat kebocoran dari <i>rubber seal</i> di sisi hulu <i>guard valve outlet</i><br>• <i>Gate position indicator</i> , panel kontrol dan alat ukur pada aktuator rusak di <i>jet flow gate outlet</i><br>• Tutup silinder hidrolik di <i>emergency bonnated outlet</i> mengalami kebocoran apabila pintu dioperasikan<br>• Banyak titik korosi pipa baja dan kebocoran <i>seal expansion joint</i> di hulu <i>steel pipe conduit</i> |
| <b>Terowongan Galeri</b>    | • Seluruh ruang terowongan galeri terendam air dengan kondisi <i>steel support</i> mengalami korosi cukup berat sekitar 2 mm  |
| <b>Instrumentasi</b>        | • Terdapat 6 jenis instrumen dengan kondisi kurang perawatan hingga rusak total   |

Penentuan perbaikan fisik didasarkan pada evaluasi hasil inspeksi lapangan. Perbaikan atau penggantian material rip-rap dengan estimasi 35% luasan area rip-rap di lereng hulu dan hilir bendungan. Kerusakan material diakibatkan oleh sifat batuan rip-rap yang mengalami degradasi secara fisik maupun kimiawi. Penurunan lokal yang terjadi dapat menginisiasi terjadinya erosi internal hingga *piping* pada timbunan. Bendungan urugan dapat mengalami kegagalan dalam kondisi statis serta kondisi dinamis ketika mengalami

deformasi berlebih, beban berlebih dan kehilangan material berlebih melalui erosi (Chugh, 2011). Lokasi penurunan pada lereng bendungan harus terpetakan dan terpantau secara rutin. Secara lebih lengkap, pemantauan dapat dilengkapi dengan pemantauan internal bendungan melalui survei geofisika. Metode geofisika yang umum digunakan pada investigasi bendungan antara lain *electrical resistivity*, *electromagnetic conductivity*, *magnetic*, *microgravity*, *ground penetrating radar* (Fell dkk., 2005).

**Tabel 6.** Penilaian defisiensi struktur Bendungan Pelaparado pada metode modifikasi ICOLD

| Faktor     | Masalah  | Nilai Risiko |
|------------|--|--------------|
| Banjir     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kerusakan ringan hingga sedang pada hidromekanikal di <i>intake</i> dan <i>outlet</i></li> </ul>  | 2            |
| Stabilitas | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan beberapa lokasi pelindung lereng hulu dan lereng hilir</li> <li>• Keterdapatan zona lemah di fondasi STA 6 - STA 8</li> <li>• Terowongan galeri terendam air</li> </ul> | 12           |
| Gempa      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bendungan Pelaparado berada diantara zona gempa aktif (<i>Flores and Wetar Thrust Fault</i> di utara dan <i>Zona Subduksi Hindia-Indo Australia</i> di selatan)</li> </ul>        | 8            |

**Tabel 7.** Penilaian faktor tambahan pengelolaan keamanan Bendungan Pelaparado pada metode modifikasi ICOLD

| Faktor                                      | Masalah  | Nilai Risiko |
|---|--|--------------|
| Dokumen Bendungan                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Penurunan beberapa lokasi pelindung lereng hulu dan lereng hilir</li> <li>• Keterdapatan zona lemah di fondasi STA 6 - STA 8</li> </ul>   | 2            |
| Instrumentasi Keamanan Bendungan            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pisometer hidraulik rutin dibaca namun belum pernah <i>diflushing</i>, tangki hidraulik kering sehingga hasil bacaan pisometer diragukan validitasnya</li> <li>• <i>Observation well</i> dalam kondisi tidak tertutup dan tidak rutin dipantau</li> <li>• <i>V-notch</i> kurang terawat akibat vandalisme</li> <li>• <i>Bench Mark</i> (BM) di tumpuan kiri tidak dilengkapi keterangan atau nama BM</li> <li>• Patok geser butuh perawatan agar jelas urutan dan lokasinya</li> <li>• <i>Multilayer settlement</i> dalam kondisi rusak, terendam air hujan dan tidak pernah dilakukan pembacaan</li> </ul> | 2            |
| Pemeriksaan dan evaluasi keamanan terdahulu | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pernah dilakukan inspeksi besar tahun 2008 tetapi data laporan lengkap dan evaluasi tindak lanjutnya tidak terdokumentasi dengan baik</li> </ul>  | 2            |
| Perkembangan daerah hilir                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Diperkirakan cepat berkembang seiring pertambahan penduduk dan pembangunan infrastruktur</li> </ul>   | 3            |

Kerusakan ringan hingga tidak berfungsinya perangkat hidromekanikal bendungan dijumpai pada bangunan pengambilan dan bangunan pengeluaran di Bendungan Pelaparado. Bangunan pengambilan memerlukan pengecatan anti karat pada *stoplog* dan perbaikan kerusakan perangkat hidromekanikal di *maintenance gate*. Kerusakan hidromekanikal bangunan pengeluaran juga harus segera dilakukan pengecekan ulang terkait tingkat kerusakan agar bisa segera diperbaiki. Kegiatan perbaikan yang perlu segera dilakukan antara lain penggantian *rubber seal* sisi hulu *guard valve outlet*; perbaikan komponen elektrik panel kontrol dan alat ukur pada aktuator di *gate position indicator*; penggantian tutup silinder hidrolik di *emergency bonnated outlet*; perbaikan *seal expansion joint* serta pembersihan dan pengecatan kembali korosi pipa baja di hulu *steel pipe conduit*. Perbaikan harus dilakukan sesuai dengan prosedur dan metode perbaikan hidromekanikal yang baik agar tidak mengganggu pola operasi waduk.

Instrumentasi keamanan bendungan merupakan salah satu bagian terpenting dalam operasi dan pemeliharaan bendungan. Manfaat pemasangan instrumentasi keamanan bendungan adalah perkiraan analisis keamanan bendungan, perkiraan perilaku jangka panjang, evaluasi legal serta pengembangan atau verifikasi desain yang akan datang (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Periode pemantauan perilaku

bendungan dilakukan selama tahap konstruksi dan tahap pasca konstruksi ketika pengisian awal waduk (*initial impounding*) dan operasi waduk (Hunter & Fell, 2003). Tindak lanjut yang tepat diperlukan apabila terdapat kerusakan instrumentasi seperti perbaikan atau penggantian berdasarkan kepentingan fungsi instrumen. Pisometer hidraulik Bendungan Pelaparado memerlukan pembersihan dan perbaikan selang unit *de-airing* agar pemantauan pola tekanan air pori di fondasi dan tubuh bendungan menghasilkan data yang valid. Pembilasan dan pemberian kotak pengamanan sumur observasi sangat penting untuk pemantauan fluktuasi muka airtanah fondasi. Pengadaan 1 set *total station* oleh pihak pengelola bendungan sebagai alat monitor deformasi melalui patok geser akan sangat mendukung pemantauan deformasi bendungan secara lebih intensif oleh tim OP. Instrumen deformasi permukaan di Bendungan Pelaparado merupakan salah satu alternatif pemantauan deformasi yang harus dijaga dengan baik dan termonitor secara berkala karena fungsinya sebagai pengganti instrumen *multilayer settlement* yang sudah rusak sehingga data pemantauannya tidak lengkap.

Berdasarkan hasil kegiatan inpeksi lapangan, permasalahan rembesan di terowongan galeri merupakan masalah serius bagi stabilitas bendungan secara keseluruhan. Untuk dapat melakukan investigasi kondisi di dalam terowongan harus dilakukan pengurusan air terlebih



dahulu. Upaya pengurusan air harus memperhatikan sifat material fondasi terowongan untuk menghindari terjadinya erosi akibat tekanan pemompaan yang terlalu besar. Investigasi khusus mengenai sumber dan mekanisme rembesan di terowongan harus segera dilakukan untuk menentukan metode penanggulangan, karena kondisi rembesan berhubungan dengan stabilitas bendungan terutama tumpuan kiri dan fondasi bangunan pelimpah. Analisis stabilitas bendungan terhadap beban gempa juga perlu dilakukan karena lokasi bendungan terletak di antara 2 sumber gempa utama Pulau Sumbawa. Respon bendungan terhadap kejadian gempa selama ini hanya dinilai berdasarkan hasil pengamatan visual. Keterbatasan fungsi dan jumlah instrumentasi merupakan salah satu permasalahan pada pemantauan perilaku Bendungan Pelaparado terhadap kejadian gempa bumi di Pulau Sumbawa dan sekitarnya. Selama 5 tahun terakhir terjadi peningkatan intensitas kejadian gempa bumi. Berdasarkan Peta Gempa Indonesia 2017, wilayah Nusa Tenggara-Laut Banda memiliki 49 sumber gempa dan sebelumnya belum

termuat pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Pusat Studi Gempa Nasional, 2017). Pemutakhiran kondisi tersebut menunjukkan peningkatan nilai koefisien gempa di Pulau Sumbawa dan khususnya Bendungan Pelaparado.

Berdasarkan hasil penilaian risiko Bendungan Pelaparado, peningkatan manajemen OP bendungan merupakan salah satu aspek perbaikan yang harus diprioritaskan. Struktur organisasi pengelolaan bendungan perlu dievaluasi secara periodik berdasarkan perkembangan dasar hukum pengelolaan bendungan dan prioritas kegiatan OP bendungan. Peningkatan kualitas sumber daya manusia pengelola bendungan juga harus dilakukan secara periodik melalui bimbingan teknis dan studi banding terhadap pengelolaan bendungan di tempat lain. Manajemen arsip dan dokumen yang lebih baik akan mendukung evaluasi keamanan bendungan yang lebih komprehensif. Fasilitas pendukung pengelolaan bendungan seperti optimalisasi *generator set* menjadi sangat penting untuk mendukung sistem operasi elektrikal dan inspeksi berkala bendungan. *Generator set* menjadi

**Tabel 8.** Penilaian risiko Bendungan Pelaparado dengan metode modifikasi ICOLD

| Faktor   | Kuantitas        | Nilai Risiko |
|--|------------------|--------------|
| Kapasitas waduk (juta m <sup>3</sup> )           | 18               | 4            |
| Tinggi bendungan (m)                             | 61               | 6            |
| Penduduk di evakuasi (jumlah orang)              | 26.180           | 8            |
| Potensi kerusakan hilir                          | Tinggi           | 12           |
| Risiko bisnis akibat kegagalan bendungan         | Tinggi           | 6            |
|  | <b>Sub Total</b> | <b>36</b>    |
| Ketersediaan catatan konstruksi dan pemeliharaan | Rendah           | 2            |
| Pemantauan instrumentasi keamanan bendungan      | Rendah           | 2            |
| Tingkat usaha evaluasi keamanan terdahulu        | Rendah           | 2            |
| Potensi perkembangan daerah hilir                | Tinggi           | 3            |
|  | <b>Sub Total</b> | <b>9</b>     |
| Defisiensi kapasitas banjir                      | Sedang           | 2            |
| Defisiensi stabilitas statis                     | Tinggi           | 12           |
| Defisiensi gempa bumi                            | Tinggi           | 8            |
|  | <b>Sub Total</b> | <b>22</b>    |
|  | <b>Total</b>     | <b>67</b>    |

**Tabel 9.** Penilaian faktor kepentingan relatif dan indeks risiko bentuk kegagalan Bendungan Pelaparado dengan metode indeks risiko

| Parameter Inspeksi   | Nilai Bobot (CF <sub>i</sub> ) | Faktor Kepentingan Relatif (RI <sub>i</sub> ) | Indeks Risiko (IR <sub>j</sub> ) |
|--|--------------------------------|---|----------------------------------|
| Penghalang saluran pelimpah (CF <sub>1</sub> )                                   | 9                              | 123,48  | 12,35                            |
| Tinggi jagaan (CF <sub>2</sub> )   | 8                              | 41,16   | 8,23                             |
| Penghalang pada saluran pengeluaran di bagian bawah bendungan (CF <sub>3</sub> ) | 8                              | 246,96  | 49,39                            |
| Erosi pada saluran pelimpah (CF <sub>4</sub> )                                   | 8                              | 52,92   | 10,58                            |
| Material pelindung permukaan bendungan (CF <sub>5</sub> )                        | 6                              | 22,68   | 9,07                             |
| Erosi buluh pada tubuh bendungan (CF <sub>6</sub> )                              | 5,5                            | 188,16  | 84,67                            |
| Erosi buluh pada fondasi bendungan (CF <sub>7</sub> )                            | 6                              | 80,64   | 32,26                            |
| Longsor pada bendungan urugan (CF <sub>8</sub> )                                 | 7,5                            | 42  | 10,50                            |
| Longsor pada bendungan dan fondasinya (CF <sub>9</sub> )                         | 7,5                            | 42  | 10,50                            |
|  |                                | <b>Total</b>                                  | <b>227,56</b>                    |

penggerak utama sistem elektrikal di lokasi bendungan. Penyusunan struktur dan anggaran kegiatan OP bendungan akan semakin lengkap dengan partisipasi masyarakat di sekitar area waduk sehingga kelestarian bendungan dan waduk dijaga atas kepedulian seluruh pihak.

#### 4. Kesimpulan

Bendungan Pelaparado termasuk kategori bendungan risiko “tinggi” dengan total nilai risiko 67 berdasarkan penilaian risiko metode modifikasi ICOLD. Berdasarkan penilaian risiko metode indeks risiko, Bendungan Pelaparado memiliki indeks risiko total 227,56 dengan nilai keamanan 72,91 sehingga termasuk klasifikasi keamanan “cukup”. Rekomendasi tindak lanjut terbagi menjadi aspek perbaikan fisik, aspek investigasi khusus dan aspek peningkatan manajemen OP bendungan. Tujuan rekomendasi perbaikan adalah mencegah permasalahan semakin berkembang dan membahayakan keamanan bendungan.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Unit Pengelola Bendungan (UPB) BWS Nusa Tenggara I dan seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama 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. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)1090-0241\(2001\)127:4\(325\)](https://doi.org/10.1061/(asce)1090-0241(2001)127:4(325)).
- Azdan, M. D., & Samekto, C. R. (2008). Kritisnya Kondisi Bendungan di Indonesia 1. *Seminar Nasional Bendungan Besar*. Kementerian Bappenas, 1-7.
- Chugh K. Ashok. (2011). Evaluation of Embankment Dam Stability and Deformation. *Bureau of Reclamation: TADS (Training Aids for Dam Safety)*. Washington, Amerika Serikat.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2004). *Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul*. Retrieved from <http://sni.litbang.pu.go.id/image/sni/isi/pd-t-08-2004-a.pdf> (Diakses 20 Juni 2021)
- Duricic, J. (2014). Dam Safety Concepts. *Thesis*. Delft University of Technology: Hydraulic Engineering Section, Faculty of Geoscience
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., & Bell, G. (2005). *Geotechnical Engineering of Dams*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/noe0415364409>
- Hunter, G. & Fell. R. (2003). *The Deformation Behaviour Of Embankment Dam*. The University of New South Wales. *UNICIV Report No 416*. Sydney, Australia
- Indrawan, D., Tanjung, M. I., & Sadikin, N. (2013). Penilaian Indeks Risiko Metode Modifikasi Andersen dan Modifikasi ICOLD untuk 12 Bendungan di Pulau Jawa. *Jurnal Sumber Daya Air, No.2*, 93-104.
- Ishbaev A., Pandjaitan N. H & Erizal. (2014). Evaluasi Keamanan Dam Jatiluhur Berbasis Indeks Risiko. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*. <https://doi.org/10.29244/jpsl.4.2.111>.
- Japarussidik. (2002). *Kronologis Pelaksanaan Pembangunan Bendungan Pelaparado sampai dengan Januari 2002*. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. Lombok, Nusa Tenggara Barat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No.27/PRT/M/2015 tentang Bendungan. *Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2015 Nomor 771*. Jakarta.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan Pemukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (pp. 1689-1699).
- PT Caturbina Guna Persada. (2018). *Laporan Akhir Inspeksi Besar Bendungan Pelaparado di Pulau Sumbawa*. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. Lombok, Nusa Tenggara Barat.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. (2006). *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa, Volume II, Jawa Tengah*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (Puslitbang), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung.
- Sinotech Engineering Consultants, LTD. (2013). *Laporan Inspeksi dan Penilaian Risiko Bendungan Pengga*. Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I. Lombok, Nusa Tenggara Barat.
- 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 International Conference on Sustainable Infrastructure and Built Environment*. Bandung.