

Penerapan Metode Modifikasi Andersen Dalam Penilaian Risiko Bendungan Haliwen

Muhammad Fuad Maulana¹, Sukamta¹, Dyah Ari Wulandari¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Sudarto No.13, Kec. Tembalang, Kota Semarang, 50275

^{*)} m_fuad_m@pu.go.id

Abstract

Indonesia is a disaster-prone country; therefore, all infrastructure must be risk-analyzed in order to carry out mitigation efforts. One of the infrastructures that holds the potential for high risk of danger is a dam. Dams need to be inspected regarding dam operations, maintenance, and safety, one of which is through regular inspections. The results of the inspection can be used to analyze dam risks. The Haliwen Dam was originally a reservoir whose classification was upgraded to dam due to the enactment of Minister of Public Works Regulation No. 27 of 2015 concerning Dams. The Haliwen Dam needs to be analyzed for its risks as a dam. The method for analyzing the risk of dams can use the modified Andersen method. This method works well for dams with limited information during construction and instrumentation. This research requires a report on the results of field inspections to determine the physical condition of the dam. The end result of this analysis is the dam risk condition in the form of a safety value (N_{aman}). The safety value obtained is 80. Based on the risk assessment of the modified Andersen method, the Haliwen Dam has a safety value above 75 (satisfactory), which means that the dam is in good condition and has a low risk of failure. A satisfactory safety value means that the dam can operate properly at ordinary (normal) and extraordinary load times.

Keywords: Risk analysis, Dam, Inspection, Haliwen, Andersen Method

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang rawan bencana, oleh karena itu seluruh infrastruktur yang dimiliki harus dilakukan analisis risiko guna dapat dilakukan upaya-upaya mitigasinya. Salah satu diantara infrastruktur yang menyimpan potensi risiko bahaya tinggi yaitu bendungan. Bendungan perlu dilakukan inspeksi terkait operasi, pemeliharaan, dan keamanan bendungan, salah satunya dengan inspeksi rutin. Hasil dari inspeksi dapat digunakan untuk menganalisis risiko bendungan. Bendungan Haliwen awalnya merupakan embung yang dinaikkan klasifikasinya menjadi bendungan karena berlakunya Peraturan Menteri Pekerjaan Umum no 27 Tahun 2015 tentang Bendungan. Bendungan Haliwen perlu dianalisis risikonya selayaknya bendungan. Metode untuk menganalisis risiko dari bendungan dapat menggunakan metode modifikasi Andersen. Metode ini cukup baik digunakan untuk bendungan dengan informasi saat konstruksi dan instrumentasi yang terbatas. Penelitian ini membutuhkan laporan hasil inspeksi lapangan untuk mengetahui kondisi fisik bendungan. Hasil akhir dari analisis ini adalah kondisi risiko bendungan berupa nilai keamanan (N_{aman}). Nilai keamanan yang didapat adalah 80. Berdasarkan penilaian risiko metode modifikasi Andersen, Bendungan Haliwen tersebut mendapat nilai keamanan di atas 75 (memuaskan) yang artinya bendungan tersebut dalam kondisi baik dan memiliki risiko kegagalan yang rendah. Nilai keamanan memuaskan memiliki arti bendungan dapat beroperasi dengan baik di waktu beban biasa (normal) dan luar biasa.

Kata Kunci: Analisis risiko, Bendungan, Inspeksi, Haliwen, Metode Andersen

LATAR BELAKANG

Indonesia merupakan negara yang rawan bencana, oleh karena itu seluruh infrastruktur yang dimiliki harus dilakukan analisis risiko guna dapat dilakukan upaya-upaya mitigasinya. Salah satu infrastruktur tersebut yaitu bendungan. Bendungan, disamping mempunyai banyak manfaat, juga menyimpan potensi bahaya yang sangat tinggi (Lave & Balvanyos, 1998; Poff & Schmidt, 2016; Su, Hu, & Wen, 2013).

Dalam hal keamanan bendungan, penilaian risiko bendungan pada dasarnya adalah merupakan suplemen atau tambahan dari pendekatan berbasis standar yaitu pendekatan tradisional untuk rekayasa teknik bendungan, dimana risiko-risiko dikendalikan dengan mengikuti peraturan-peraturan yang ditetapkan untuk perencanaan, pembebanan, kapasitas struktur, angka keamanan dan langkah-langkah desain (Pramudawati, 2020).

Penilaian risiko adalah proses untuk mencapai suatu rekomendasi keputusan tentang apakah risiko yang ada dapat ditoleransi dan apakah tindakan pengendalian risiko yang sekarang sudah memadai, dan apabila tidak,

apakah tindakan pengendalian risiko alternatif dibenarkan atau akan dilaksanakan. Cakupan penilaian risiko adalah masukan dan keluaran dari tahapan analisis risiko dan evaluasi risiko (Indrawan dkk., 2013).

Berdasarkan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011) tentang pedoman teknis penilaian risiko bendungan disebutkan untuk penilaian risiko bendungan disarankan dilakukan paling tidak setiap 10 (sepuluh) tahun sekali. Penilaian risiko dilakukan bersamaan dengan pemeriksaan besar bagi bendungan-bendungan dengan tinggi diatas 75 m dan/atau volume tampungan sekurang-kurangnya 100 juta m³ serta untuk bendungan-bendungan yang termasuk dalam kelas bendungan dengan tingkat bahaya tinggi menurut pedoman "Klasifikasi Bahaya Bendungan".

Bendungan Haliwen dibangun pada tahun 2002 sampai dengan 2005, dengan tujuan pemanfaatan air untuk irigasi seluas 259 Ha dan penyediaan air baku sebesar 20 liter/detik bagi Kabupaten Belu. Lokasi dari bendungan ini terletak di Desa Umaklaran, Kecamatan Tasifeto, Kabupaten Belu, Provinsi Nusa Tenggara Timur.

Bendungan Haliwen telah melewati beberapa kajian terkait operasi, pemeliharaan, dan keamanan

bandungan 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 Haliwen pada tahun 2021.

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 Haliwen berbasis metode indeks risiko. Hasil penilaian risiko selanjutnya dilakukan klasifikasi keamanan bendungan untuk mengetahui tindakan yang perlu dilakukan.

METODE PENELITIAN

Bendungan Haliwen memiliki tinggi 25 m, panjang 130 m dan volume tampungan sebesar 1,48 juta m³. Muka air normal (MAN) berada pada elevasi +341,55 m sedangkan Muka air banjir (MAB) berada pada elevasi +343,40 m. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari hasil inspeksi besar Bendungan Haliwen tahun 2021. Inspeksi besar tersebut termasuk kedalam kegiatan program *Dam Operational and Safety Project Phase – II* (DOISP-II) di lingkungan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II.

Andersen et al. (2001) menyatakan bahwa 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



Gambar 1. Lokasi Bendungan Haliwen
Sumber: BWS Nusa Tenggara II (2021)



Gambar 2. Kondisi Rip Rap
Sumber: BWS Nusa Tenggara II (2021)



Gambar 3. Lereng Hulu dan Hilir
Sumber: BWS Nusa Tenggara II (2021)



Gambar 4. Puncak Bendungan
Sumber: BWS Nusa Tenggara II (2021)

Terdapat sembilan (9) faktor kondisi fisik yang dapat mengakibatkan kegagalan bendungan yang bisa dilihat pada Tabel 1. Metode modifikasi Andersen menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2

Tabel 1. Kondisi fisik penyebab dan potensi moda kegagalan bendungan

| Kondisi fisik yang dapat menyebabkan kegagalan | Moda kegagalan bendungan |
|---|--------------------------|
| Kehilangan atau berkurangnya kapasitas pelimpah | <i>Overtopping</i> |
| Kehilangan atau berkurangnya tinggi jagaan | |
| Kehilangan atau berkurangnya fungsi pengeluaran | |
| Erosi pada saluran pelimpah | Erosi eksternal |
| Kehilangan atau berkurangnya material pelindung bendungan | |
| Erosi buluh pada bendungan | <i>Piping</i> |
| Erosi buluh pada pondasi | |

| | |
|---|--|
| Stabilitas tubuh bendungan Stabilitas tubuh dan pondasi bendungan | <i>Mass movement</i> (kegagalan lereng) |
|---|--|

Sumber: Andersen et al. (2001)

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

dengan:

- V = faktor kerawanan total
- I₁ = faktor pengaruh tinggi bendungan
- I₂ = faktor pengaruh tipe bendungan
- I₃ = faktor tipe pondasi
- I₄ = faktor kepentingan waduk
- E₁ = faktor pengaruh umur bendungan
- E₂ = faktor pengaruh kegempaan
- D₁ = faktor kecukupan pelimpah
- D₂ = faktor kecukupan kestabilan lereng.

Setiap faktor kerawanan diberikan rentang nilai sebesar 1 sampai 10. Tabel 2 sampai dengan Tabel 9 memberikan rekomendasi nilai faktor intrinsik, faktor eksternal, faktor kapasitas pelimpah dan faktor stabilitas bendungan yang direkomendasikan sesuai kondisi bendungan di lapangan.

Tabel 2. Faktor Pengaruh Tinggi Bendungan (I₁)

| 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 3. Faktor Pengaruh Tipe Bendungan (I₂)

| Tipe Bendungan | Deskripsi | Bobot |
|----------------|---|-------|
| Urugan Batu | Partikel penyusun utama dari berukuran kerakal atau lebih besar | 4 |
| Urugan Tanah | Partikel penyusun terdiri dari kerikil, pasir, dan/atau lanau dan partikel berukuran tanah liat | 10 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Tabel 4. Faktor Pengaruh Tipe Pondasi (I₃)

| Tipe Pondasi | Bobot |
|--------------|-------|
| Batuan | 1 |
| Moraine | 5 |
| Aluvium | 10 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Tabel 5. Faktor Pengaruh Kapasitas Waduk (I₄)

| ha . m | Kapasitas Waduk | | Bobot |
|------------|-----------------|-----------------|-------|
| | 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 6. Faktor Umur Bendungan (E₁)

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

Sumber: Andersen et al. (2001)

Tabel 7. Faktor Kegempaan (E₂)

| Intensitas Gempa | Bobot |
|------------------|-------|
| ≤ V | 1 |
| VI | 2 |
| VII | 6 |
| VIII | 8 |
| IX | 10 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Tabel 8. Faktor Kecukupan Kapasitas Pelimpah (E₃)

| Intensitas Gempa | Bobot |
|---|-------|
| Kapasitas pelimpah kurang dari setengah kapasitas yang dibutuhkan | 10 |
| Kapasitas pelimpah lebih dari setengah kapasitas yang dibutuhkan | 5 |
| Kapasitas pelimpah lebih dari yang dibutuhkan | 1 |
| Kapasitas pelimpah diperkirakan kurang dari yang dibutuhkan | 5 |
| Kapasitas pelimpah diperkirakan lebih dari yang dibutuhkan | 2 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Tabel 9. Faktor Kecukupan Kapasitas Pelimpah (E₃)

| Intensitas Gempa | Bobot |
|--|-------|
| a. Kondisi telah diketahui | |
| Stabilitas bendungan (SF) kurang dari yang dibutuhkan | 10 |
| Stabilitas bendungan (SF) lebih dari yang dibutuhkan | 1 |
| b. Perkiraan kondisi | |
| Stabilitas bendungan (SF) diperkirakan kurang dari yang dibutuhkan | 7 |
| Stabilitas bendungan (SF) diperkirakan lebih dari yang dibutuhkan | 2 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Faktor kepentingan awal dapat dihitung dengan memasukkan nilai faktor kerawanan total (V) dan nilai faktor bencana (H) ke dalam Persamaan 2. Nilai faktor bencana ditentukan sesuai dengan potensi bahaya yang dapat ditimbulkan oleh bendungan. Jenis kerusakan area hilir

yang terjadi bila bendungan gagal menentukan tingkat potensi bahaya bendungan (FEMA, 2004)

Tabel 10. Tingkat Bahaya Akibat Kegagalan Bendungan (H)

| Tingkat Bahaya | Deskripsi | Bobot |
|----------------|--|-------|
| Tinggi | Terdapat potensi korban jiwa | 10 |
| Sedang | Tidak berpotensi menimbulkan kehilangan nyawa namun dapat menimbulkan kerugian ekonomi, menyebabkan lingkungan rusak, dan/atau mengganggu sarana publik. | 5 |
| Kecil | Tidak ada potensi kehilangan nyawa dan potensi kerugian ekonomi atau lingkungan relatif kecil. | 1 |

Sumber: Andersen et al. (2001)

Potensi tingkat bahaya bendungan dapat ditentukan dari perkiraan timbulnya korban jiwa dan perkiraan kerugian ekonomi, kerusakan lingkungan serta kerusakan fasilitas umum. Faktor kepentingan awal dihitung sesuai Rumus 2. Tingkat bahaya akibat kegagalan bendungan dapat dilihat pada Tabel 10

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

dengan:

I_{dam} = faktor kepentingan awal
H = faktor potensi bencana

Chouinard et al. (1998) mendefinisikan keempat moda kegagalan yakni: 1). *overtopping* merupakan kondisi aliran tak terkendali lewat puncak bendungan, 2). erosi eksternal merupakan mekanisme erosi apapun yang dapat mengakibatkan terjadinya kegagalan pada permukaan bendungan atau jebolnya bendungan, 3). *pipng* merupakan migrasi partikel tanah lewat pondasi atau tubuh bendungan sedangkan 4). *mass movement* merupakan massa tubuh bendungan atau pondasi yang bergerak dalam bidang geser. Setelah didapatkan faktor kepentingan awal I_{dam} langkah selanjutnya adalah menghitung faktor kepentingan relatif menggunakan persamaan 3.

$$R_{ij} = P\{M_i|F\} \times P\{C_j|M_i\} \times I_{dam} \quad (3)$$

dengan:

$P\{M_i|F\}$ = probabilitas kondisional dengan ragam kegagalan ke i

$P\{C_j|M_i\}$ = probabilitas kondisional pada kondisi fisik ke j
 R_{ij} = faktor kepentingan relatif dari kondisi fisik ke j.

Parameter $P\{C_j|M_i\}$ dan $P\{M_i|F\}$ merupakan parameter yang sulit didapatkan untuk perhitungan faktor kepentingan relatif karena terbatas pada kegagalan bendungan di Indonesia, sehingga analisisnya belum optimal. Pedoman USCOLD 1998 digunakan sebagai pengganti untuk pengkajian bendungan yang ada di Indonesia.

Terdapat sembilan faktor fisik yang membutuhkan inspeksi di lapangan. Faktor-faktor fisik ini diberikan bobot sesuai daftar isian. Kesembilan faktor ini terdiri dari:

- CF₁ = faktor penghalang saluran pelimpah
- CF₂ = faktor pengurangan tinggi jagaan bendungan
- CF₃ = faktor penghalang saluran pengeluaran
- CF₄ = faktor erosi dinding saluran pelimpah
- CF₅ = faktor kondisi pelindung lereng bendungan
- CF₆ = faktor erosi buluh tubuh bendungan
- CF₇ = faktor erosi buluh pondasi bendungan
- CF₈ = faktor stabilitas tubuh bendungan
- CF₉ = faktor stabilitas pondasi dan abutmen bendungan

Indeks resiko total (IR_{tot}) merupakan nilai yang menggambarkan kegagalan suatu bendungan. Indeks resiko total yang semakin tinggi menandakan resiko kegagalan bendungan yang tinggi juga. Nilai IR_{tot} didapat menggunakan persamaan 4 dan persamaan 5.

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

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

Angka nilai keamanan bendungan (N_{aman}) dihitung dengan nilai I_{dam} dan IR_{tot} menggunakan persamaan 6. Kemudian diklasifikasikan kondisi keamanan bendungan berdasarkan tabel 11.

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

dengan:

N_{aman} = Nilai keamanan bendungan yang diperiksa
 I_{dam} = Faktor kepentingan awal
 IR_{tot} = Indeks resiko total

Tabel 11. Klasifikasi kondisi keamanan bendungan

| N_{aman} | Klasifikasi |
|------------|------------------|
| >75 | Memuaskan |
| 65-75 | Cukup |
| 55-64 | Kurang Memuaskan |
| <55 | Tidak Memuaskan |

Sumber: Ishbaev et al. (2014)

Kondisi keamanan “**Memuaskan**” berarti bendungan aman pada saat kondisi normal, banjir dan gempa. Kondisi keamanan “**Cukup**” menandakan bendungan aman saat kondisi normal namun kemungkinan kurang aman saat kondisi banjir dan gempa. Kondisi keamanan “**Kurang Memuaskan**” menandakan bendungan kurang aman saat kondisi banjir dan gempa. Kondisi keamanan “**Tidak Memuaskan**” berarti bendungan tidak aman pada kondisi normal maupun banjir dan gempa.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bendungan Haliwen merupakan embung yang naik klasifikasi menjadi bendungan, Oleh karena itu inspeksi dilakukan dengan kriteria pengecekan setingkat dengan inspeksi bendungan dan dijadikan laporan inspeksi besar. Laporan pemeriksaan besar bendungan Haliwen tahun 2021 menjadi dasar penilaian resiko bendungan Haliwen. Penilaian indeks risiko pada metode modifikasi Andersen dapat dilihat pada Tabel 12.

Nilai V didapatkan dengan memasukkan data bendungan ke persamaan 1. Sedangkan nilai Idam didapat dengan memasukkan faktor kerawanan total (V) dan faktor potensi bencana (H) ke persamaan 2.

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

$$V = \left(\frac{6 + 10 + 1 + 6}{4} \right) \times \left(\frac{8 + 8}{2} \right) \times \left(\frac{1 + 1}{2} \right) = 46$$

$$I_{dam} = V \times H$$

$$I_{dam} = 46 \times 10 = 460$$

Tabel 12. Perhitungan Idam Bendungan Haliwen

| No | Kriteria | Kode | Data Bendungan | Skor |
|----|--------------------|----------------|------------------------------|------|
| 1 | Tinggi Bendungan | I ₁ | 25 m | 6 |
| 2 | Tipe Bendungan | I ₂ | Urugan Tanah | 10 |
| 3 | Tipe Pondasi | I ₃ | Batuan | 1 |
| 4 | Kapasitas Waduk | I ₄ | 250 ha-m | 6 |
| 5 | Umur Waduk | E ₁ | 19 tahun | 8 |
| 6 | Seismisitas | E ₂ | VIII | 8 |
| 7 | Kapasitas Pelimpah | D ₁ | Memadai | 1 |
| 8 | Keamanan Deformasi | D ₂ | SF Hulu 3,46 ; SF Hilir 2,35 | 1 |
| 9 | V | | | 46 |
| 10 | H | | Potensi Kehilangan Nyawa | 10 |
| 11 | I _{dam} | | | 460 |

Sumber: Hasil Pengolahan data (2023)

Kondisi Inspeksi Bendungan Haliwen

Hasil pengamatan visual dan hasil analisa lain yang berkaitan digunakan untuk menentukan skor setiap parameter yang mencakup 9 (sembilan) daftar isian kondisi fisik bendungan. Penentuan bobot kondisi hasil inspeksi Bendungan Haekrit ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Kondisi Fisik Hasil Inspeksi Bendungan Haliwen

| No | Kriteria | Kode | Data Bendungan | Skor |
|----|-------------------------------------|------|----------------------|------|
| 1 | Penghalang di saluran pelimpah | CF1 | Tidak ada penghalang | 9 |
| 2 | Pengurangan tinggi jagaan | CF2 | Tidak ada retakan | 9 |
| 3 | Penghalang pada saluran pengeluaran | CF3 | Tidak ada penghalang | 9 |
| 4 | Erosi di saluran pelimpah | CF4 | Tidak ada | 9 |

| | | | | |
|---|--------------------------------|-----|---------------------------------|---|
| 5 | Erosi material pelindung | CF5 | Tidak ada | 9 |
| 6 | Erosi buluh di tubuh bendungan | CF6 | Terdapat semak di sela rip-rap | 7 |
| 7 | Erosi buluh di pondasi | CF7 | Rembes bening di kaki bendungan | 7 |
| 8 | Stabilitas tubuh bendungan | CF8 | Terdapat semak di sela rip-rap | 7 |
| 9 | Stabilitas abutmen dan pondasi | CF9 | Rembes bening di kaki bendungan | 7 |

Sumber: Hasil Pengolahan data (2023)

Indeks Risiko Total dan Nilai Keamanan Bendungan Haliwen

Langkah selanjutnya adalah mencari nilai Indeks Risiko Total. IR_{tot} didapat menggunakan Persamaan 4 dan 5 dengan mengkombinasikan faktor kepentingan relatif serta kondisi fisik inspeksi (CF_j) pada tabel 13. Berdasarkan Persamaan 6, semakin kecil nilai IR_{tot} dibandingkan dengan nilai Idam, maka bendungan akan semakin aman karena nilai N_{aman} akan menjadi lebih tinggi. Hasil perhitungan secara rinci dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Penilaian Faktor Kepentingan Relatif dan Indeks Risiko Tiap Moda Kegagalan

| No | Moda Kegagalan | Peluang kegagalan P [Cj][Mj] | Peluang kondisi fisik P [Mj][F] | Indeks penentu relatif RIj | Bobot CFJ | Indeks Risiko ke-J IRj = RIj (10-CFj)/10 |
|---------------------------|-----------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|-----------|--|
| 1 | Overtopping | 0,49 | 0,30 | 67,62 | 9 | 6,76 |
| | | | 0,10 | 22,54 | 9 | 2,25 |
| | | | 0,60 | 135,2 | 9 | 13,52 |
| 2 | Erosi Eksternal | 0,10 | 0,70 | 32,3 | 9 | 3,22 |
| | | | 0,30 | 13,8 | 9 | 1,38 |
| 3 | Piping | 0,32 | 0,70 | 103 | 7 | 30,91 |
| | | | 0,30 | 44,16 | 7 | 13,25 |
| 4 | Mass Movement | 0,09 | 0,50 | 20,7 | 7 | 6,21 |
| | | | 0,50 | 20,7 | 7 | 6,21 |
| IR_{tot} = | | | | | | 83,72 |

Sumber: Hasil Pengolahan data (2023)

Setelah nilai IR_{tot} dan Idam didapat, maka nilai keamanan (N_{aman}) dari Bendungan Haliwen dihitung dengan memasukkan IR_{tot} dan Idam yang sudah didapatkan dari perhitungan sebelumnya ke dalam persamaan 6. Sehingga didapatkan nilai N_{aman} dari Bendungan Haliwen sebesar 81,8. Sesuai klasifikasi tingkat keamanan bendungan pada tabel 11, Bendungan Haliwen mendapat nilai di atas 75 yang dapat diartikan bahwa Bendungan Haliwen aman pada saat beban normal maupun beban banjir.

KESIMPULAN

Bendungan Haliwen merupakan embung yang klasifikasinya berubah menjadi bendungan berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 27 Tahun 2015 tentang Bendungan sehingga dapat dianalisis risikonya sebagai sebuah bendungan. Berdasarkan penilaian resiko metode modifikasi Andersen, Bendungan Haliwen tersebut mendapat nilai keamanan di atas 75 (memuaskan) yang artinya bendungan tersebut dalam kondisi baik dan memiliki risiko kegagalan yang rendah. Nilai keamanan memuaskan memiliki arti bendungan dapat beroperasi dengan baik di waktu beban biasa (normal) dan luar biasa.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara II, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas dukungan informasi untuk mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, G., Chouinard, L., Hover, W., & Cox, C. (2001). "Risk Indexing Tools to Assist in Prioritizing Improvements to Embankment Dam Inventories". *J. Geotech, Geoenvironmental Eng*, 325-334.
- BWS Nusa Tenggara II. (2021). *Laporan Pemeriksaan Besar Bendungan Haliwen*. Kupang.
- Chouinard, L., Andersen, G., Robichaud, J., Blanchette, G., & Gervais, R. (1998). "Priority Ranking for Maintenance Activities on Embankment Dams". *1st Annual Conference System Stewardship for Dams & Reservoirs*.
- Indrawan, D. (2013). "Penilaian Indeks Risiko Metode Modifikasi Andersen dan Modifikasi ICOLD untuk 12 Bendungan di Pulau Jawa". *Jurnal Sumber Daya Air*, 93-102.
- International Organization for Standardization. (2018). *Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use*.
- Ishbaev, A., Pandjaitan, N., & Erizal. (2014). "Evaluasi Keamanan Dam Jatiluhur Berbasis Indeks Resiko". *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 111-118.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Pedoman Teknis Penilaian Resiko Bendungan*. Jakarta.
- Lave, L. B., & Balvanyos, T. (1998). "Risk Analysis and Management of Dam Safety". *Risk Analysis* 18(4), 455-462. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1998.tb00360.x>.
- Poff, N. L., & Schmidt, J. C. (2016). "How dams can go with the flow". *Science*, 353(6304), 1099- 1100. <https://doi.org/10.1126/science.aah4926>.
- Pramudawati, M., Tanjung, M., & Ghafara, R. (2020). "Dam Safety Risk Assesment in East Java". *Jurnal Teknik Hidraulik*, 93-102.
- Su, H. Z., Hu, J., & Wen, Z. P. (2013). "Optimization of reinforcement strategies for dangerous dams considering time-average system failure probability and benefit-cost ratio using a life quality index".

Natural Hazards, 65(1), 799–817.
<https://doi.org/10.1007/s11069-012-0394-z>