

## **PENILAIAN INDEKS RISIKO METODE MODIFIKASI ANDERSEN DAN MODIFIKASI ICOLD UNTUK 12 BENDUNGAN DI PULAU JAWA**

### ***MODIFIED ANDERSEN AND MODIFIED ICOLD METHODS OF RISK INDEXING FOR 12 DAMS IN JAVA***

**Dery Indrawan<sup>1)</sup>, Mahdi Ibrahim Tanjung<sup>2)</sup>, Nurlia Sadikin<sup>3)</sup>**

<sup>1), 3)</sup>Peneliti Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan

<sup>2)</sup>Staf Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan

Jl. Ir. H. Djuanda No. 193, Bandung

E-mail: der\_ind@yahoo.com

Diterima: 04 Juli 2013 ; Disetujui: 25 September 2013

#### **ABSTRAK**

*Penilaian risiko untuk 12 bendungan di Pulau Jawa dengan metode modifikasi Andersen dan modifikasi ICOLD telah dilakukan, dan merupakan bagian dari kegiatan Dam Operation Improvement Safety Project (DOISP) di Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum. Pada bendungan yang dievaluasi dilakukan analisis risiko terhadap defisiensi struktur akibat beban kondisi operasi normal, banjir, dan gempa. Makalah ini merangkum proses penilaian risiko dari ke dua metode indeks risiko tersebut, hasil penilaian, temuan dan rekomendasi, serta memberikan evaluasi dari proses penilaian risiko dan rekomendasi dalam penentuan kebijakan dalam operasi dan pemeliharaan bendungan. Diketahui bahwa rangking risiko antara ke dua metode memberikan urutan berbeda, hal ini disebabkan perbedaan pendekatan penilaian risiko dari ke dua metode tersebut. Modifikasi Andersen terfokus terhadap defisiensi struktur terutama yang tampak secara visual, dan modifikasi ICOLD terfokus dengan kelemahan dalam desain dan risiko di hilir. Meskipun kedua metode tersebut memiliki pendekatan yang berbeda, ke dua metode tersebut dapat digunakan dalam analisis risiko bendungan dengan disesuaikan maksud dari penilaian Indeks risiko.*

**Kata kunci:** Bendungan, indeks risiko, inspeksi lapangan, modifikasi andersen, modifikasi ICOLD

#### **ABSTRACT**

*Risk assessment for the 12 dams on Java Island with a method of Modified Andersen and Modified ICOLD have been done, the assessment is part of the activities of Dam Operation Improvement Safety Project (DOISP) at the Research Center for Water Resources (RCWR), Ministry of Public Works. Dams were studied to analyze the risks to the deficiency of the structure due to the load under normal operating conditions, floods conditions, and earthquakes conditions. This paper summarizes the process of risk assessment of both risk index method, the assessment results, findings and recommendations. The paper also provides an evaluation of the risk assessment process and policy recommendations for the operation and maintenance of dams. The results are risk rankings between the two methods give different sequences, this is due to differences in the risk assessment approach of both methods. Modified Andersen focused on structural deficiencies, especially visually, and modification ICOLD focused on design flaws and risks in downstream of the dam. Although both methods have different approaches, both methods can be used in risk analysis of the dams adjusted purposes of risk index assessment.*

**Keywords :** Dam, risk index, onsite inspection, modified andersen, modified ICOLD

#### **PENDAHULUAN**

Banyak bendungan di Indonesia tidak memiliki informasi yang lengkap seperti gambar *as-built*, riwayat perilaku, dan sedikit atau tidak adanya catatan instrumentasi. Sehingga untuk memprioritaskan pemeliharaan, perbaikan, dan

evaluasi dengan kondisi tersebut ditambah terbatasnya waktu dan dana dibutuhkan metode analisis risiko yang cepat. Di antara banyak metode yang dapat digunakan untuk kebutuhan tersebut adalah modifikasi Andersen, dan modifikasi ICOLD. Dalam makalah ini dibahas analisa indeks risiko tingkat keamanan terhadap 12 bendungan di Pulau

Jawa meliputi: Bendungan Penjalin, Cacaban, Malahayu, Plumbon, Wadaslintang, Sempor, Darma, Cipancuh, Selorejo, Sampean Baru, Greneng dan Tempuran. Setiap metode analisis risiko memiliki pendekatan yang berbeda begitu pula antara modifikasi Andersen dan modifikasi ICOLD. Modifikasi Andersen tidak begitu menekankan pada analisis risikonya sendiri tetapi lebih menekankan pada penilaian hasil inspeksi visual, sedangkan modifikasi ICOLD selain menilai berdasarkan inspeksi visual metode ini fokus pada kelemahan desain dan risiko di hilir. Penjelasan kedua metode tersebut dijabarkan dalam manuskrip ini.

## KAJIAN PUSTAKA

Pusat Litbang SDA telah melaksanakan pengkajian dan evaluasi keamanan bendungan dengan melaksanakan inspeksi keamanan bendungan, evaluasi instrumen, pembobotan tingkat keamanan bendungan dengan metode indeks risiko dan analisis stabilitas bendungan akibat pengaruh gempa (Najooan & Carlina, 2006, 2007). Dalam melakukan analisis metode indeks risiko, digunakan formulir isian perhitungan beberapa faktor, diantaranya:

- a tingkat kepentingan awal bendungan (*Importance factor = I<sub>dam</sub>*),
- b perhitungan faktor tingkat kepentingan relatif bendungan (*Relative Importance = RI*),
- c pembobotan dengan parameter fisik di lapangan dan formulir isian inspeksi keamanan bendungan,
- d perhitungan indeks risiko total.

Berdasarkan kajian/analisa di atas, pada tahun 2012, Pusat Litbang SDA melakukan inspeksi bendungan dengan cara memeriksa bagian permukaan luar bendungan, tubuh bendungan, instrumentasi, bukit tumpuan dan pondasi, waduk, tanah longsor dan bangunan-bangunan pelengkap. Kemudian, dilakukan penilaian indeks risiko metode modifikasi Andersen dan modifikasi ICOLD sebagai cara penilaian tingkat keamanan bendungan. Dalam metode ini diperlukan parameter-parameter untuk analisis dan hasilnya berupa bobot/nilai (*score*), yang kemudian diurutkan berdasarkan peringkat prioritas (*priority rank*) tingkat risikonya. Parameter-parameter tersebut berdasarkan tabel-tabel bobot (*score*) yang dikembangkan oleh Andersen G.R. dkk (1999, 2001a & 2001b), dan telah dimodifikasi untuk kondisi Indonesia. Selain metode Andersen, dilakukan pula penilaian risikorisiko yang lebih sederhana berdasarkan modifikasi ICOLD. Penilaian risiko ini didasari hasil inspeksi bendungan, informasi desain dan konstruksi,

laporan pemantauan, laporan penyelidikan dan laporan inspeksi sebelumnya serta diskusi dengan staf O&P bendungan. Stabilitas statis di bendungan mencakup ketidakstabilan lereng, beban berlebihan pada bendungan dan/atau pada fondasi, filter yang tidak memadai dan *piping* melalui bendungan dan/atau fondasi, kerusakan di saluran pengeluaran atau yang berhubungan dengan saluran tersebut, kerusakan struktur pada fondasi geologi, dan rembesan berlebihan yang mengarah pada erosi buluh.

## METODOLOGI

### Metode Modifikasi Andersen

Metode modifikasi Andersen termasuk dalam metode indeks risiko karena hanya memberikan suatu indikasi tingkat potensi risiko akibat kerutuhan bendungan urugan. Risiko tersebut dihitung sebagai defisiensi pada kondisi fisik bendungan aktual atau kondisi bendungan dan pembobotan berdasarkan semua tingkat kepentingan dalam keamanan bendungan dan berdasarkan tingkat kerentanan dan potensi bahaya dari bendungan tersebut (*Andersen G.R. dkk, 2001*).

Penilaian indeks risiko dengan Metode modifikasi Andersen diawali dengan menentukan tingkat kepentingan bendungan dengan mempertimbangkan kerentanan bendungan, dan potensi bahaya di hilir. Setelah mendapatkan tingkat kepentingan bendungan, tahap berikutnya adalah menentukan kepentingan relatif yang merupakan hasil penilaian berbagai kondisi fisik secara visual yang dapat menyebabkan kegagalan bendungan dengan menggunakan prosedur Bayesian, dan penyederhanaan analisis kekritisitas berdasarkan probabilitas kegagalan bersyarat yang ditentukan oleh penilaian ahli. Hasil inspeksi visual di lapangan digunakan untuk menentukan kondisi fisik tersebut. Dalam metode ini disediakan format inspeksi untuk menilai indikator kondisi fisik di lapangan. Kepentingan relatif dari kondisi fisik dikombinasikan dengan tingkat kepentingan bendungan untuk memperoleh semua kepentingan sehubungan dengan seluruh inventaris. Hasil dari penentuan kepentingan tersebut kemudian dikombinasikan dengan kondisi fisik saat ini (dalam perkalian sederhana) untuk menghitung indeks risiko untuk setiap defisiensi yang diamati. Untuk setiap bendungan, indeks-indeks risiko dijumlahkan untuk memperkirakan indeks risiko secara keseluruhan. Prioritas bisa didapat berdasarkan defisiensi fisik tertentu atau pada indeks risiko secara keseluruhan.

Persamaan-persamaan untuk menghitung faktor kepentingan awal adalah pada persamaan berikut:

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

$$I_{dam} = V \times H \quad 1)$$

Keterangan:

- V , faktor kerawanan total,
- I<sub>1</sub> , faktor kondisi awal (intrinsik) pengaruh tinggi bendungan,
- I<sub>2</sub> , faktor kondisi awal (intrinsik) pengaruh tipe bendungan,
- I<sub>3</sub> , faktor kondisi awal (intrinsik) pengaruh tipe fondasi,
- I<sub>4</sub> , faktor kondisi awal (intrinsik) pengaruh kapasitas waduk,
- E<sub>1</sub> , faktor eksternal pengaruh umur,
- E<sub>2</sub> , faktor eksternal pengaruh kegempaan,
- D<sub>1</sub> , faktor kecukupan pelimpah,
- D<sub>2</sub> , faktor kecukupan kestabilan lereng,
- I<sub>dam</sub> , faktor tingkat kepentingan awal (faktor penentu utama),
- H , faktor potensi bencana

Faktor kepentingan relatif bendungan diperoleh dari persamaan 2 berikut:

$$RI_j = P[ M_i | F ] \times P[ C_j | M_i ] \times I_{dam} \quad 2)$$

Keterangan:

- RI<sub>j</sub> , faktor kepentingan relatif dari kondisi fisik ke j,
- P[ M<sub>i</sub> | F ] , probabilitas kondisional dari ragam kegagalan ke i,
- P[ C<sub>j</sub> | M<sub>i</sub> ] , probabilitas kondisional pada kondisi fisik ke j.

Parameter P[ M<sub>i</sub> | F ] dan P[ C<sub>j</sub> | M<sub>i</sub> ] merupakan parameter yang sangat sulit diperoleh. Hal ini disebabkan karena terbatasnya data tentang kegagalan bendungan di Indonesia, sehingga belum dapat dilakukan suatu analisis yang teliti. Sehubungan dengan hal ini, maka dalam pengkajian keamanan bendungan di Indonesia, digunakan pengalaman penelitian yang ada di Amerika Serikat dengan pengalaman *USCOLD* 1998.

Suatu inspeksi keamanan bendungan perlu dilakukan untuk menentukan kondisi sebenarnya di lapangan. Sebanyak 9 kondisi fisik di lapangan harus diidentifikasi dengan memberi bobot sesuai dengan daftar isian, yaitu :

- 1 penghalang pada saluran pelimpah (CF<sub>1</sub>),
- 2 pengurangan tinggi jagaan (CF<sub>2</sub>),
- 3 penghalang pada saluran pengeluaran (CF<sub>3</sub>),

- 4 erosi pada saluran pelimpah (CF<sub>4</sub>),
- 5 material pelindung pada permukaan bendungan (CF<sub>5</sub>),
- 6 erosi buluh pada tubuh bendungan (CF<sub>6</sub>),
- 7 erosi buluh pada fondasi bendungan (CF<sub>7</sub>),
- 8 stabilitas tubuh bendungan (CF<sub>8</sub>),
- 9 stabilitas tubuh dan fondasi bendungan (CF<sub>9</sub>).

Indeks risiko total (IR<sub>tot</sub>) menjadi faktor yang menggambarkan risiko bendungan, diperoleh dengan mengkombinasi nilai bobot kondisi lapangan (CF<sub>i</sub>) dengan faktor kepentingan relatif menggunakan persamaan 3 berikut:

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

$$IR_{tot} = \sum IR_j \quad 3)$$

Keterangan:

CF<sub>j</sub> , bobot kondisi lapangan ke j.

Penentuan prioritas tingkat risiko Metode modifikasi Andersen ditentukan berdasarkan urutan indeks risiko total (IR<sub>tot</sub>) yang terbesar.

### Metode Modifikasi ICOLD

Penilaian indeks risiko metode modifikasi ICOLD seperti halnya metode modifikasi Andersen pada tahap awal terlebih dahulu dihitung tingkat kepentingan bendungannya. Parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat kepentingan bendungan pada metode modifikasi ICOLD sedikit berbeda dengan metode modifikasi Andersen, dimana pada metode modifikasi ICOLD data teknik bendungan yang diperlukan hanya kapasitas waduk, dan tinggi bendungan, tetapi pada metode modifikasi ICOLD menambahkan parameter kebutuhan evakuasi, potensi kerusakan di hilir, dan risiko bisnis akibat keruntuhan bendungan (Satuan Kerja Balai Bendungan, 2008).

Setelah diketahui tingkat kepentingan bendungan tahap selanjutnya adalah menilai faktor tambahan pada bendungan yang berkaitan dengan aktifitas operasi dan pemeliharaan bendungan seperti ketersediaan data konstruksi dan pemeliharaan, ketersediaan proses instrumentasi dan inspeksi. Hasil penjumlahan faktor kepentingan bendungan dan faktor tambahan kemudian dijumlahkan dengan faktor yang berkaitan dengan defisiensi struktur yang dapat menyebabkan kegagalan bendungan.

Dalam metode modifikasi ICOLD identifikasi defisiensi struktur yang dapat menyebabkan kegagalan bendungan dapat dibagi dalam 3 grup besar, sebagai berikut:

- 1 stabilitas statik
- 2 kapasitas banjir
- 3 ketahanan terhadap gempa

Penilaian defisiensi yang terkait masalah stabilitas statis di bendungan adalah pengecekan data desain mengenai ketersediaan filter, geologi fondasi, dan konduit dalam mengantisipasi permasalahan erosi buluh, dan desain timbunan dalam mengantisipasi permasalahan stabilitas lereng. Selain pengecekan data desain dilakukan juga inspeksi lapangan untuk menilai kondisi rembesan, retakan, kondisi material timbunan, dan gejala pergerakan. Penilaian defisiensi yang terkait kapasitas banjir adalah dengan pengecekan kapasitas pelimpah, inspeksi kerusakan struktur pelimpah dan kerusakan elektro mekanikal yang berhubungan dengan kecukupan pelimpah.

Penilaian defisiensi terhadap ketahanan terhadap gempa bumi adalah dengan pengecekan data desain apakah desain sudah memenuhi peraturan untuk beban gempa yang baru, ketersediaan tinggi jagaan, apakah ada pada lapisan fondasi atau timbunan yang berpotensi likuifaksi, dan pengecekan kemiringan lereng timbunan dan tepi reservoir.

Setelah semua faktor di atas dijumlahkan tahap berikutnya adalah mengklasifikasikan berdasarkan jumlah nilai tersebut. Untuk bendungan yang memiliki jumlah nilai antara 0–15 termasuk dalam kategori “Low”, 16–45 termasuk dalam kategori “Moderate”, 46–75 termasuk dalam kategori “High”, dan lebih dari 75 termasuk dalam kategori “Extreme”.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Inspeksi lapangan pada 12 bendungan di Pulau Jawa pada tahun 2012 menemukan beberapa defisiensi fisik yang mengindikasikan adanya masalah erosi buluh, stabilitas lereng, deformasi, dan erosi. Foto lapangan yang ditampilkan pada makalah ini hanya sebagian kecil dari foto yang diambil pada setiap bendungan. Dalam makalah ini foto indikasi adanya defisiensi fisik dikelompokkan untuk masalah yang serupa, sebagai berikut:

### 1) Erosi Buluh

Dari 12 bendungan yang diteliti terdapat 2 bendungan yang secara visual terlihat adanya gejala erosi buluh yaitu Bendungan Plumbon, dan Bendungan Greneng. Pada saat inspeksi di Bendungan Plumbon, terlihat rembesan pada saluran drainase kondisinya keruh dan di dalam pipa drainase pada kaki lereng hilir adanya endapan material tanah, endapan material tanah

terlihat mengendap pada bak v-notch sehingga menyulitkan pengukuran rembesan (Gambar 1). Muka air waduk pada saat inspeksi lapangan lebih rendah dari muka air minimum, sehingga diperkirakan pada saat muka air waduk tinggi erosi buluh dapat semakin parah. Pada saat inspeksi lapangan belum terlihat penanganan terhadap erosi buluh tersebut.



**Gambar 1** Air rembesan berwarna keruh dan terdapat endapan partikel tanah di dalam pipa saluran drainase di kaki lereng hilir bendungan Plumbon, sekitar profil 5 bagian lereng hilir

Bendungan Plumbon memiliki riwayat keruntuhan yaitu pada tahun 1993, dimana pada tahun tersebut pelimpah asli dari Bendungan Plumbon ini mengalami keruntuhan karena erosi kuat di bagian *stilling basin*. Pada saat ini pelimpah Bendungan Plumbon telah diganti dengan pelimpah baru yang dibangun di sebelah kanan lokasi pelimpah lama.

Erosi pada kaki lereng hilir Bendungan Greneng terlihat ditangani dengan penanganan sementara berupa filter dari bahan eksisting yang dimasukkan dalam lubang akibat erosi buluh (Gambar 2). Bendungan Greneng sebelumnya pernah mengalami masalah erosi buluh dari lereng udik dekat potongan menara intake sampai ke lereng hilir dekat *abutment* kiri. Saat ini erosi buluh tersebut telah ditangani dengan pemasangan filter dan bronjong pada lereng hilir. Sisa gejala erosi buluh di lapangan masih terlihat pada rip-rap lereng udik yang mengalami penurunan. Gejala erosi buluh pada Bendungan Plumbon dan Bendungan Greneng harus segera ditangani dengan penanganan yang permanen mengingat keruntuhan bendungan akibat erosi buluh apabila sudah terlanjur besar akan sulit ditangani. Konsep penanganan erosi buluh pada ke dua bendungan tersebut dapat menggunakan filter

seperti pada penanganan erosi buluh Bendungan Greneng yang terdahulu.



**Gambar 2** Lokasi erosi buluh pada kaki lereng hilir Bendungan Greneng

Di antara 12 bendungan yang distudi terdapat 1 (satu) bendungan lagi yang memiliki riwayat erosi buluh yaitu Bendungan Cipancuh, sayangnya pada saat inspeksi lapangan Bendungan Cipancuh muka air waduk dalam keadaan sangat rendah bahkan bisa disebutkan kering sehingga gejala erosi buluh tidak dapat diamati.

Pada dinding sayap kiri *outlet* Bendungan Malahayu terlihat ada rembesan tidak terkendali, menurut petugas lapangan rembesan berasal dari saluran irigasi dekat dengan dinding sayap kiri yang mengalami kebocoran (Gambar 3). Pada saat inspeksi lapangan belum terlihat adanya gejala erosi buluh pada rembesan tidak terkendali tersebut, tetapi disarankan segera mengendalikan rembesan tersebut karena rembesan tidak terkendali apalagi dengan debit yang cukup besar sangat berpotensi membawa partikel tanah dan akhirnya mengakibatkan terjadinya erosi buluh.



**Gambar 3** Rembesan tidak terkendali pada dinding sayap kiri *outlet* Bendungan Malahayu apabila tidak dikendalikan dikhawatirkan membawa partikel tanah di belakang dinding

Apabila rembesan tersebut memang berasal dari saluran irigasi di dekat dinding disarankan untuk segera memperbaiki saluran irigasi tersebut sehingga debit rembesan pada dinding tersebut berkurang, atau apabila ternyata setelah perbaikan saluran irigasi tetapi rembesan pada dinding tersebut tidak berkurang maka kemungkinan besar rembesan tersebut berasal dari waduk dan sangat disarankan untuk memasang lapisan filter di sekitar retakan bocoran tersebut agar bocoran tersebut tidak membawa partikel.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, apabila erosi buluh sudah terlanjur besar maka akan sulit untuk mengendalikannya apalagi pada kasus ini rembesan tidak terkendali posisinya dekat dengan struktur bangunan operasi, kerusakan struktur bangunan operasi akan sulit dihindari apabila erosi buluh ini sudah terlanjur membesar.

## 2) Stabilitas Lereng

Permasalahan stabilitas lereng pada saat inspeksi lapangan ditemui pada Bendungan Cacaban, Bendungan Cipancuh, dan Bendungan Tempuran. Pada Bendungan Cacaban permasalahan stabilitas lereng ditemui pada lereng sayap kanan peluncur pelimpah. Bagian tebing lereng sayap kanan dari saluran pelimpah mengalami kelongsoran (Gambar 4). Hal ini disebabkan karena tebing lereng yang curam dan batuan dasarnya mengalami pelapukan kuat. Batuan dasar yang berupa selang-seling batupasir dengan batulempung, batulempung yang mengalami pelapukan dalam keadaan kering retak-retak, kemudian pada musim hujan menjadi bubur. Material longsor terlihat sebagian mengendap pada kolam olak, dikhawatirkan material longsor tersebut dapat mengurangi kapasitas saluran peluncur dan kolam olak pelimpah (Gambar 5).



**Gambar 4** Tebing sayap kanan saluran pelimpah longsor terjadi karena pelapukan kuat dari batuan dasarnya



**Gambar 5** Sedimentasi terjadi di ruang olak saluran pelimpah, yang dapat mengurangi efektifitas dari ruang olak

Apabila material longsoran tidak segera dibersihkan dikhawatirkan pada saat debit limpasan besar aliran air pada saluran peluncur melewati puncak dinding saluran peluncur dan menggerus tebing di belakang dinding sehingga memperbesar masalah stabilitas lereng pada tebing di belakang dinding saluran peluncur. Penanganan masalah stabilitas lereng pada kasus ini dapat menggunakan *shortcrete*.

Di antara 12 bendungan yang dievaluasi, Bendungan Cipancuh merupakan bendungan yang memiliki defisiensi fisik terburuk terutama pada masalah stabilitas lereng. Kualitas timbunan Bendungan Cipancuh pada permukaan lereng hilir secara visual terlihat kurang baik, hampir sepanjang bendungan terlihat gejala longsoran dangkal berupa retakan memanjang, mahkota longsoran, dan bentuk lereng yang tidak teratur (Gambar 6).



**Gambar 6** Puncak mahkota longsoran terpusat pada lereng hilir

Pada tahun 2010 lereng hilir mengalami longsoran cukup besar, sehingga dilakukan perbaikan berupa timbunan dengan *geogrid*, *counterweight* dan *bor pile*. Secara visual terlihat

*counterweight* berupa bronjong dan bor pile berfungsi dengan baik untuk menahan longsoran. Pada bronjong dan pile cap dari bor pile tidak terlihat adanya gejala deformasi pengaruh dari dorongan lereng. Pada ujung tengah bronjong terlihat adanya gejala deformasi sebagai akibat kurangnya kapasitas daya dukung tanah fondasi berupa bekas bidang longsoran, tanah yang mengalami deformasi berlebih seperti longsor memiliki kuat geser residual.

Pola longsoran pada tahun 2010 diindikasikan melalui fondasi tanggul, berdasarkan wawancara dengan penduduk diketahui pada saat kejadian longsor muka air waduk sedang tinggi, pada sawah penduduk dekat kaki lereng yang longsor tanahnya pengelembungan dan adanya aliran yang cukup deras dari tanah fondasi. Perbaikan yang dilakukan pada tahun 2010 terlihat berfungsi dengan baik untuk mencegah longsoran lama, tetapi di lapangan terlihat adanya pola longsoran yang baru berupa longsoran dangkal (Gambar 7), hal ini terlihat terbentuknya mahkota longsoran baru, geogrid tereskpose pada rekahan yang terjadi dan tertimbunnya bronjong dekat kaki lereng secara tidak teratur. Geogrid yang tereskpose sangat rentan mengalami penurunan mutu bahan sehingga dapat menurunkan kapasitas tariknya dan menurunkan efektifitas fungsinya sebagai perkuatan timbunan. Untuk mencegah hal tersebut disarankan segera melakukan perbaikan pada longsoran dangkal ini.



**Gambar 7** Lereng hilir kondisinya tidak teratur sebagai gejala adanya longsoran dangkal

Pada saat inspeksi kondisi lereng hilir dan kaki lereng hilir dalam keadaan kering, kondisi tanah areal persawahan juga hampir seluruhnya kering kecuali areal persawahan di hilir lokasi bekas longsoran pada tahun 2010. Areal persawahan yang terlalu dekat dengan kaki lereng hilir dapat menyulitkan observasi rembesan, karena air pada kaki lereng hilir bisa bercampur

antara air berasal dari tubuh bendungan dan air yang berasal dari areal persawahan.

Kondisi kaki lereng hilir kurang terawat, tumbuh subur tanaman perdu pada kaki lereng hilir sehingga dapat menyulitkan pemeriksaan secara visual. Kondisi V-Notch dan drainase permukaan pada kaki lereng hilir tertutup tanaman. Disarankan untuk dibersihkan agar pada saat muka air tinggi dapat terpantau rembesan yang terjadi.

Kunjungan lapangan pada Bendungan Tempuran pada tahun 2012 dilakukan 2 kali, pada saat kunjungan pertama pada puncak bendungan bagian tengah tidak terlihat adanya retakan pada permukaan aspal, tetapi pada kunjungan ke 2 sekitar selang 2 bulan dari kunjungan pertama terlihat adanya retakan pada puncak bendungan yang bentuknya menyerupai mahkota longsor (Gambar 8).



**Gambar 8** Puncak bendungan tempuran terdapat retak menyerupai mahkota longsor

Pada saat kunjungan lapangan pertama retakan pada puncak bendungan terlihat di dekat *abutment* kiri, kondisi batu rip-rap masih dalam keadaan rapih dan tidak terlihat adanya gejala pergerakan lereng berupa penggelembungan atau ketidak selarasan.

Bendungan ini sebelumnya pernah mengalami longsor pada lereng udiknya lokasinya di sekitar retakan yang baru, Bendungan Tempuran pada desain awalnya memiliki kemiringan lereng udik 1V:2H, kemudian dilakukan perbaikan dengan menambah berm pada lereng udik dan kemiringan lereng dilandaikan untuk meningkatkan stabilitas lereng udik. Melihat gejala retakan yang baru kemungkinan ada lapisan tanah fondasi yang memiliki kuat geser yang rendah atau hanya memiliki kuat geser residual yang rendah akibat deformasi longsor sebelumnya. Untuk menangani masalah stabilitas bendungan ini sangat disarankan terlebih dahulu melakukan

investigasi geoteknik pada tubuh bendungan dan fondasi lereng udik sehingga didapat karakteristik lapisan tanah untuk desain penanganan masalah stabilitas pada lereng udik Bendungan Tempuran.

### 3) Deformasi

Deformasi pada puncak bendungan paling terlihat pada Bendungan Darma, dimana pada puncak bendungan terlihat adanya retakan melintang puncak, dan puncak bendungan cenderung berbentuk cekung pada bagian tengah bendungan. Gejala deformasi berupa retak pada puncak terlihat juga pada Bendungan Selorejo, Bendungan Sampean Baru, dan Bendungan Sempor, tetapi gejala deformasi pada bendungan tersebut tidak begitu signifikan pengaruhnya terhadap keamanan bendungan, retakan umumnya sangat kecil dan posisinya adalah pertemuan tubuh timbunan dengan *abutment* atau dinding pelimpah.

Pada saat inspeksi lapangan (bulan Juni 2012) pada Bendungan Darma muka air waduk terletak pada elevasi +711,90 m (MAN: +712,50 m). Kondisi puncak dan bahu bendungan utama secara umum kurang baik, terdapat gejala penurunan tubuh bendungan ke bagian hilir bendungan (Gambar 9), terlihat adanya retakan melintang badan jalan di tubuh bendungan dan penurunan parapet pada bidang kontak tubuh bendungan dengan tumpuan kanan (Gambar 10). Kerusakan tersebut dapat dilihat dengan adanya kerusakan parapet pada bahu lereng hilir.



**Gambar 9** Parapet bagian tengah bendungan terlihat mengalami penurunan

Gejala kerusakan ini telah ada sejak tahun 2002 sampai sekarang. Untuk mengetahui penyebab kerusakan telah dilakukan pengeboran di bagian hilir bahu bendungan. Kemudian dari hasil pengeboran diprediksi adanya suatu zona kosong.

Rip-rap di lereng udik tumpuan kiri dan kanan secara umum dalam kondisi baik dan tidak nampak gejala degradasi maupun deformasi.



**Gambar 10** Retak melintang puncak bendungan

Tetapi terdapat di beberapa titik dekat bahu puncak bendungan kerusakan pada lapisan proteksi permukaan berupa lepasnya pasangan batu, hal ini dikhawatirkan mengurangi tinggi jagaan terutama pada saat muka air banjir, sehingga perlu menjadi perhatian mengingat tipe bendungan ini adalah urugan batu dengan membran.

Kondisi lereng hilir umumnya cukup baik, tidak ada gejala deformasi, longoran maupun rembesan yang terkonsentrasi. Sementara *piezometer* elektrik sudah lama tidak dibaca dikarenakan alat pembaca mengalami kerusakan, baru tahun ini dapat dilakukan pembacaan setelah alat baca diperbaiki. Kondisi areal sebelah hilir dari kaki lereng hilir cukup baik, tidak nampak gejala degradasi, deformasi maupun bocoran yang terkonsentrasi.

#### 4) Erosi

Indikasi adanya defisiensi akibat erosi ditemukan pada Bendungan Cipancuh, Bendungan Darma, Bendungan Sampean Baru, dan Bendungan Malahayu. Sebagian besar gejala erosi terlihat pada saluran pelimpah, hanya pada bendungan alur erosi pada lereng hilir, diindikasikan penyebabnya adalah material timbunan dalam kondisi buruk dan

tidak dilindungi oleh gebalan rumput sehingga mudah tererosi air hujan. Cipancuh dan Bendungan Penjalin. Pada Bendungan Cipancuh sangat terlihat jelas adanya

Pada Bendungan Sampean Baru blok-blok beton untuk peredam energi beberapa kondisinya sudah berpindah posisi, lereng sungai sebelah kiri pelimpah dekat bangunan PLTM tergerus aliran pelimpah pada saat muka air limpasan tinggi (Gambar 11).



**Gambar 11** Sayap Kiri Kolam olak pelimpah dekat PLTM tergerus aliran pelimpah saat debit limpasan tinggi

Disarankan segera memperbaiki bagian yang tererosi dan memastikan tidak akan tererosi lagi apabila terjadi debit limpasan yang besar. Apabila tidak segera diperbaiki dikhawatirkan kerusakan akan menyebar dan mengganggu proses operasi PLTM.

#### 5) Penilaian Indeks Risiko

Ringkasan hasil evaluasi keamanan bendungan dengan menggunakan ke dua metode indeks risiko, seperti dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3.

**Tabel 1** Kondisi hasil inspeksi lapangan

No	Bendungan	Permasalahan
1	Penjalin	Terdapat banyak lubang kecil rumah binatang hampir di seluruh permukaan lereng hilir, adanya potensi longoran dangkal.
2	Cacaban	Puncak bendungan mengalami retak memanjang pada waktu musim kemarau, terjadi longoran pada tebing saluran pelimpah.
3	Malahayu	Bocoran di sayap tembok saluran pengeluaran, kemungkinan dari saluran irigasi, saluran drainase <i>V-Notch</i> tidak berfungsi penuh dengan sampah.

**Lanjutan Tabel 1** Kondisi hasil inspeksi lapangan (lanjutan)

No	Bendungan	Permasalahan
4	Plumbon	Terdapat bekas rembesan di lereng hilir dan kaki bendungan. Terjadi pergerakan (deformasi) pada lereng hilir ditunjukkan dengan patok geser yang miring.
5	Wadaslintang	Terjadi rembesan pada <i>abutment</i> kanan di batuan dasar di bawah saluran pelimpah, lantai saluran pelimpah retak dan terdapat bocoran.
6	Sempor	Pintu <i>outlet</i> tidak berfungsi dengan baik dan ada potensi gerusan pada areal hilir.
7	Darma	Puncak bendungan terlihat miring ke hilir, rembesan pada pondasi cukup besar, permukaan pelimpah terdapat kerusakan kemungkinan akibat gerusan, dan kapasitas pelimpah diperkirakan tidak cukup.
8	Cipancuh	Longsoran dangkal banyak terjadi hampir di seluruh lereng hilir dan pernah terjadi longsoran dalam. Pada areal persawahan terdapat rembesan tidak terkendali pada saat muka air tinggi.
9	Selorejo	Rembesan pada bukit tumpuan cukup besar, dan puncak bendungan menjadi jalur transportasi.
10	Sampean Baru	Sedimentasi tinggi sehingga PLTM tidak dapat berfungsi.
11	Greneng	Rembesan pada kaki cukup besar.
12	Tempuran	Stabilitas lereng udik, masih terdapat retakan melintang pada puncak bendungan dekat <i>abutment</i> kanan.

**Tabel 2** Resume evaluasi keamanan bendungan metode modifikasi ICOLD

No	Bendungan	Score ICOLD	Urutan Prioritas ICOLD
1	Penjalin	63.00	6
2	Cacaban	72.00	2
3	Malahayu	56.00	7
4	Plumbon	67.00	4
5	Wadaslintang	74.00	1
6	Sempor	68.00	3
7	Darma	72.00	2
8	Cipancuh	56.00	7
9	Selorejo	60.00	6
10	Sampean Baru	65.00	5
11	Greneng	55.00	8
12	Tempuran	55.00	8

**Tabel 3** Resume evaluasi keamanan bendungan metode modifikasi Andersen

No	Bendungan	Score Andersen	Prioritas
		IR <sub>tot</sub>	
1	Penjalin	139.32	4
2	Cacaban	151.75	3
3	Malahayu	81.80	11
4	Plumbon	113.72	6
5	Wadaslintang	70.11	12
6	Sempor	118.51	5
7	Darma	234.33	1
8	Cipancuh	156.31	2
9	Selorejo	102.63	9
10	Sampean Baru	106.60	8
11	Greneng	82.30	10
12	Tempuran	107.84	7

Berdasarkan urutan prioritas penilaian indeks risiko metode modifikasi ICOLD dapat disusun sebagai berikut:

- 1 Bendungan Wadaslintang
- 2 Bendungan Cacaban dan Darma
- 3 Bendungan Sempor
- 4 Bendungan Plumbon
- 5 Bendungan Sampean Baru
- 6 Bendungan Penjalin dan Selorejo
- 7 Bendungan Cipancuh dan Malahayu
- 8 Bendungan Greneng dan Tempura

Sementara berdasarkan penilaian indeks risiko metode modifikasi Andersen urutan prioritasnya adalah sebagai berikut:

- 1 Bendungan Darma
- 2 Bendungan Cipancuh
- 3 Bendungan Cacaban
- 4 Bendungan Penjalin
- 5 Bendungan Sempor
- 6 Bendungan Plumbon
- 7 Bendungan Tempuran
- 8 Bendungan Sampean Baru
- 9 Bendungan Selorejo
- 10 Bendungan Greneng
- 11 Bendungan Malahayu
- 12 Bendungan Wadaslintang

Terdapat beberapa perbedaan hasil yang ditunjukkan dari ke dua metode indeks risiko tersebut, hal ini terjadi karena:

- 1 Penilaian Andersen sangat bergantung pada kondisi fisik bendungan hasil inspeksi visual di lapangan. Penilaian detail mengenai informasi desain, proses konstruksi dan kondisi geologi tidak begitu berpengaruh besar pada penilaian.
- 2 Penilaian ICOLD selain dipengaruhi hasil inspeksi lapangan, juga sangat dipengaruhi oleh ketersediaan informasi lengkap mengenai desain, proses konstruksi, dan kondisi geologi serta peningkatan risiko keamanan di hilir bendungan.
- 3 Hasil penilaian Andersen terhadap kondisi fisik bangunan merupakan penjumlahan defisiensi yang terjadi di lapangan dan dengan memasukan faktor probabilitas setiap kejadian yang ada.
- 4 Hasil penilaian ICOLD terhadap kondisi fisik adalah berdasarkan kejadian yang paling kritis untuk setiap kondisi pembebanan.

Perbedaan paling terlihat adalah penilaian terhadap Bendungan Wadaslintang. Hal ini terjadi karena penilaian ICOLD lebih menitikberatkan pada peningkatan risiko di hilir bendungan (tingkat kepentingan dam) bila terjadi kegagalan struktur. Seperti diketahui dari data teknis bendungan, Bendungan Wadaslintang memiliki tinggi pembendungan tertinggi dan volume tampungan terbanyak di antara yang lainnya.

Bendungan ini memiliki tinggi pembendungan,  $h = 122$  m, volume tampungan,  $v = 443 \times 10^6$  m<sup>3</sup> serta jumlah penduduk di hilir lebih dari 500.000 jiwa. Sehingga, meski secara visual kerusakan fisik yang terjadi di lapangan tidak terlalu serius, namun demikian risiko akibat kegagalan struktur di hilir bendungan memiliki dampak yang paling besar.

Berbeda dengan hasil penilaian terhadap Bendungan Cipancuh, Metode Andersen menilai kerusakan fisik yang terjadi pada bendungan ini pada urutan ke dua tertinggi setelah Bendungan Darma. Hal ini terjadi karena hasil pembobotan Andersen terhadap risiko kerusakan struktur akibat rembesan merupakan salah satu faktor yang sangat mempengaruhi tingkat keamanan bendungan. Di lain sisi, Metode ICOLD mempunyai penilaian yang sedikit berbeda karena dampak yang ditimbulkan akibat kerusakan bendungan tidak terlalu besar. Hal ini terjadi karena tinggi pembendungan Bendungan Cipancuh tidak terlalu tinggi, yaitu  $h = 7,6$  m, volume tampungan,  $v = 8 \times 10^6$  m<sup>3</sup> serta jumlah penduduk di hilir sebanyak 5000 jiwa. Untuk memperjelas hal ini, berikut adalah faktor pembobotan Metode ICOLD seperti dapat dilihat pada Gambar 12.

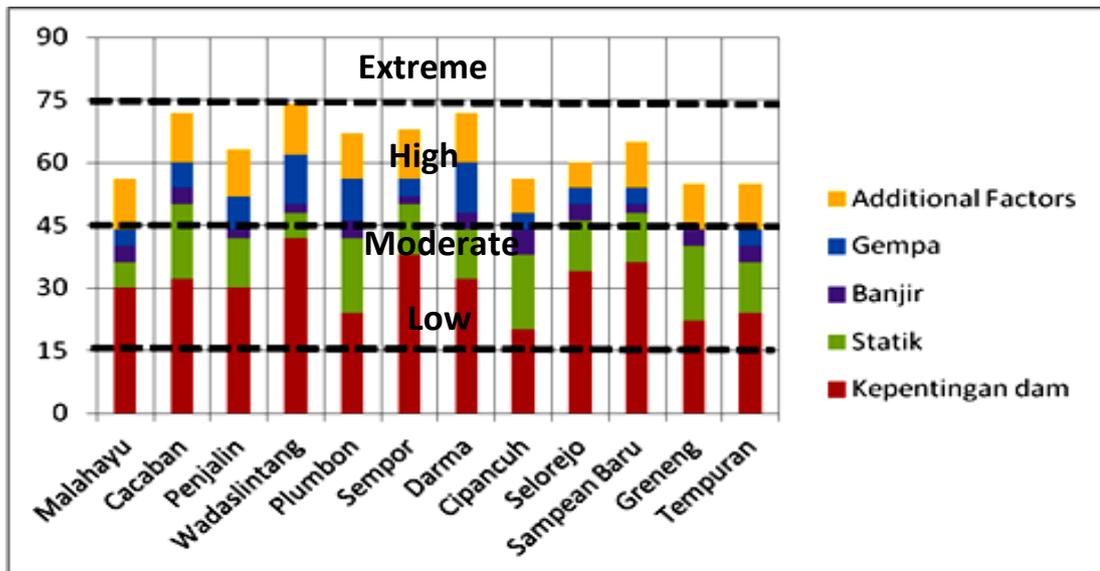
termasuk kategori “Kurang memuaskan” yaitu Bendungan Plumbon, 4 (empat) Bendungan termasuk kategori “Cukup” yaitu Bendungan Cipancuh, Bendungan Tempuran, Bendungan Greneng, dan Bendungan Darma, dan 7 (tujuh) Bendungan termasuk kategori “Memuaskan” yaitu Bendungan Cacaban, Bendungan Malahayu, Bendungan Wadaslintang, Bendungan Sempor, Bendungan Selorejo, dan Bendungan Sampean Baru.

Dengan menggunakan indeks risiko Modifikasi ICOLD diketahui bahwa 12 bendungan yang distudi termasuk kelas risiko tinggi. Beberapa bendungan seperti Bendungan Wadaslintang dan Bendungan Sempor hampir tidak mungkin diturunkan kelas risikonya menjadi *Moderate* mengingat tingkat kepentingan bendungannya sudah tinggi, sehingga meskipun ada rehabilitasi dan peningkatan OP sangat sulit untuk diturunkan kelas risikonya menjadi *Moderate*.

Hasil urutan indeks risiko metode modifikasi Andersen dan modifikasi ICOLD memberikan urutan yang berbeda, meskipun begitu ke dua metode indeks risiko tersebut masih relevan untuk digunakan dalam menilai indeks risiko bendungan.

**KESIMPULAN**

Dengan menggunakan indeks risiko modifikasi Andersen diketahui bahwa 1 bendungan



Gambar 12 Faktor pembobotan indeks risiko metode modifikasi ICOLD

## DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Bouvier, C.J. and Back, W.E., 1999. *Ranking Procedure on Maintenance Tasks for Monitoring of Embankment Dams*. J.Geotech. and Geoenvir. Engrg. ASCE, 125 (4), 247-259, Apr. 1999.
- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Hover, W.H. and Cox, C.W., 2001. *Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements To Embankment Dam Inventories*. J.Geotech. and Geoenvir. Engrg. ASCE, 127 (4), 325-334, Apr. 2001.
- Andersen, G.R., Cox, C.W, Chouinard, L.E., and Hover, W.H., 2001. *Prioritization of Ten Embankment Dams According to Physical Deficiencies*. J. Geotech. and Geoenvir. Engrg. ASCE, 127 (4), 335-345, Apr. 2001.
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2006. *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa Vol.II: Jawa Tengah*. Perpustakaan Nasional R.I. 521 halaman; ISBN 979-3197-46-3 (Jilid 2).
- Najoan, T.F. dan Carlina Soetjiono, 2007. *Tingkat Keamanan Bendungan di Jawa Vol.III: Jawa Barat*. Perpustakaan Nasional R.I. 367 halaman; ISBN 978-979-3197-56-2 (Jilid 3).
- Pusat Litbang Sumber Daya air, 2012. Laporan Output Model Sistem Kajian/Analisa Risiko Tingkat Keamanan Bendungan (12 Bendungan), Balai Bangunan Hidraulik dan Geoteknik Keairan.
- Satuan Kerja Balai Bendungan, Ministry Of Public Works, 2008. *Appendices A To J. Project Implementation Plan For Dam Operational Improvement And Safety Project (DOISP)*. Smec International Pty Ltd.