

## Manajemen Risiko *Safety* dalam Proyek Konstruksi Bendungan: Kajian Literatur

**Dinal Aulia<sup>\*1</sup>, Lusi Ma'rifah<sup>2</sup>, Ikbal Yurrazak<sup>3</sup>, Humiras Hardi Purba<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

<sup>4</sup>Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

e-mail: <sup>\*1</sup> auliarasyid719@gmail.com, <sup>2</sup> marifahlushi17@gmail.com, <sup>3</sup>ikbaldudema@gmail.com,

<sup>4</sup>humiras.hardi@mercubuana.ac.id

\* Korespondensi: auliarasyid719@gmail.com

### **ABSTRACT**

*Safety risk assessment in dams is a traditional and modern approach to the engineering process of dams on safety systems so as to produce a design history that has a good overall record and integrity. With this approach for both old and new dams, this safety risk assessment aims to determine whether the risk the hazard can be tolerated or not, if it cannot be tolerated then there must be a solution for action to reduce the risk of danger so that the safety of the dam can be obtained. The existing risk assessment can be used as the basis for the construction of the dam to its maintenance, in this study discussed risk assessment safety on dams located in several countries such as in Asia, Europe and America. The methods implemented include the preparation of safety risks, risk analysis, risk evaluation and safety risk management. Based on research results The main risk factor that causes safety responsibilities is the Contractor's responsibility, namely the Non-technical project factor (40.54%), the 2nd rank is the Undecided Responsibility due to internal technical factors (35.13%), the 3rd rank is the technical project factor namely Contractor's Responsibility (10.8%), Rank 4 is external technical factor and external non-technical factor, the last risk factor is internal non-technical factor (2.7%) namely Joint Responsibility.*

**Keywords :** *Risk safety management, risk assessment, risk analysis, risk evaluation, dam project*

### **ABSTRAK**

Penilaian *risiko safety* pada bendungan merupakan pendekatan tradisional dan modern untuk proses rekayasa teknik bendungan terhadap system keselamatan sehingga menghasilkan sejarah desain yang memiliki catatan keseluruhan dan terintegritas secara baik. Dengan pendekatan ini guna bendungan lama maupun baru, penilaian *risiko safety* ini bertujuan agar dapat mengetahui apakah *risiko* bahaya dapat di toleransi atau tidak, jika tidak dapat ditoleransi maka harus ada solusi untuk tindakan dalam mengurangi *risiko* bahaya sehingga keamanan bendungan dapat didapatkan. Pada penilaian *risiko* yang sudah ada dapat dijadikan dasar dalam pembuatan bendungan sampai dengan perawatannya, dalam penelitian ini dibahas mengenai penilaian *risiko* keamanan pada bendungan yang berada di beberapa Negara seperti di benua Asia, Eropa dan Amerika. Metode yang dilaksanakan meliputi pada penyusunan *risiko safety*, analisis *risiko*, evaluasi *risiko* dan manajemen *safety risiko*. Berdasarkan hasil penelitian Faktor risiko paling utama yang menyebabkan tanggung jawab keselamatan adalah Tanggung Jawab Kontraktor yaitu factor Non technical project (40.54%), peringkat ke-2 adalah Tanggung Jawab yang Belum Diputuskan karena factor technical internal (35.13%), Peringkat ke-3 adalah factor technical project yaitu Tanggung Jawab Kontraktor (10.8%), Peringkat ke-4 adalah factor technical eksternal dan non technical eksternal, faktor risiko terakhir adalah factor non technical internal (2,7%) yaitu tanggung Jawab Bersama.

**Kata Kunci:** *Manajemen safety risiko, Penilaian risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, proyek bendungan*

## PENDAHULUAN

Bendungan adalah salah satu sarana yang penting yang berguna bagi kehidupan manusia. Dengan peranan bendungan tersebut maka diperlukan perawatan maupun pemeliharaan serta pemilihan metode yang tepat yang dapat digunakan agar dapat menghindari kerusakan yang terjadi maupun dapat memberikan toleransi terhadap faktor keamanan pada bendungan tersebut, dengan adanya hal ini dilakukan berbagai cara seperti penilaian resiko keamanan (safety) pada bendungan. Sepanjang sejarah, pembangunan, pengoperasian dan pemeliharaan bendungan dan waduknya telah memberikan manfaat yang signifikan bagi umat manusia. Tidak peduli seberapa kecil kemungkinan kegagalan, setiap kegagalan bendungan masih menjadi perhatian besar para insinyur di komunitas teknik bendungan. Kekhawatiran ini muncul dari potensi dampak bencana dari gelombang banjir di lembah berpenduduk di hilir bendungan. Melalui pendidikan teknik, penelitian dan dari pengalaman bertahun-tahun pengoperasian bendungan diketahui bahwa rata-rata, dalam setiap tahun, kurang dari 1 bendungan dari setiap 10.000 bendungan besar gagal. Insinyur bendungan menyadari kemungkinan ini dan telah secara sistematis meningkatkan pengetahuan tentang mekanisme kegagalan bendungan dan bagaimana merekayasa untuk melawannya. Mengingat konsekuensi potensial dari kegagalan bendungan bagi pihak ketiga, banyak yang akan mengatakan keselamatan tidak hanya didasarkan pada pertimbangan teknis, tetapi harus mempertimbangkan tingkat risiko yang dapat ditoleransi oleh masyarakat umum. Merefleksikan subjek penting ini, perlu dicatat bahwa tren yang terus meningkat di industri dengan potensi menyebabkan kerugian adalah dengan secara jelas menggambarkan peran dan tanggung jawab sehubungan dengan keselamatan dalam domain politik / sosial dan teknik.

Dengan demikian, pendekatan modern terhadap keselamatan bahwa badan politik yang mewakili kepentingan seluruh masyarakat menetapkan tingkat keselamatan atau sistem manajemen risiko yang diperlukan dan melalui peraturan yang sesuai memantau apakah tingkat tersebut dicapai. Metode tradisional teknik bendungan selalu difokuskan

pada integritas kinerja dalam desain dan telah menghasilkan sejarah desain bendungan yang memiliki catatan kinerja keseluruhan yang sangat baik. Karena berbagai alasan historis dan teknis, keamanan bendungan dikendalikan dengan pendekatan berbasis aturan. Ini telah berkembang dari praktik terbaik yang diterima saat ini selama bertahun-tahun, awalnya untuk desain bendungan baru, tetapi selama beberapa dekade terakhir ini semakin diterapkan untuk menilai keamanan bendungan yang ada.

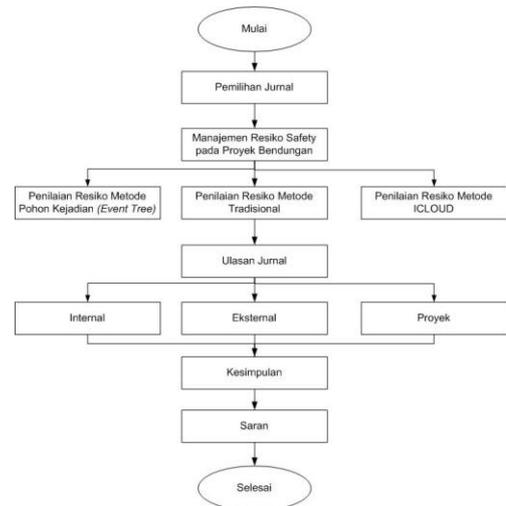
Masyarakat berkembang dan populasi mereka menjadi semakin sadar bahwa keselamatan bukanlah kondisi absolut, tetapi merupakan situasi yang dapat ditoleransi, dengan berbagai tingkat risiko residual selalu ada dan ada pertukaran tersirat antara biaya dan manfaat. Tuntutan masyarakat ini membawa persyaratan bahwa risiko diidentifikasi, dinilai, disimpan dalam tinjauan dan dikendalikan dengan baik telah menghasilkan penerapan penilaian risiko pada spektrum yang sangat luas dari kegiatan publik dan swasta yang berpotensi mempengaruhi kesejahteraan dan kepentingan masyarakat. Pada saat yang sama, peningkatan kompleksitas pengambilan keputusan bendungan, untuk memenuhi tuntutan masyarakat akan transparansi dan akuntabilitas, membutuhkan pendekatan yang lebih baik untuk operasi, pemeliharaan, dan pengelolaan mereka yang ekonomis dan aman. Pendekatan berbasis standar tradisional, dengan sendirinya, menjadi semakin tidak memadai untuk menangani bendungan tunggal atau portofolio bendungan dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk operasi, perbaikan atau peningkatannya, dalam iklim pengawasan publik yang berkembang. Penilaian risiko adalah salah satu teknik yang memiliki kapasitas untuk membantu jenis masalah yang kompleks ini. Ini berfokus pada menghubungkan tingkat kinerja dengan konsekuensi sehingga memungkinkan seorang insinyur untuk lebih menunjukkan kepada pembuat keputusan risiko nyata manusia dan ekonomi dan rekayasa yang terkait dengan keputusan investasi. Dalam penilaian risiko, ketidakpastian secara eksplisit diperhitungkan dengan mengungkapkannya dalam istilah probabilistik. Pendekatan ini adalah cara untuk

menghadapi ketidakpastian yang melekat atau alami, yang dapat dianalisis secara statistik dengan tingkat kepercayaan tertentu, serta ketidakpastian karena kurangnya informasi atau pengetahuan, di mana dasar estimasi probabilitas terkadang terbatas pada pendapat ahli.

Tujuan dari literatur review ini adalah untuk mendapatkan gambaran yang berkenaan dengan potensi resiko yang terjadi pada proyek bendungan di beberapa Negara yang sudah dilaksanakan sejak tahun 1984 sampai dengan tahun 2020. Gambaran itu menghasilkan kategori resiko yang terjadi akibat faktor eksternal, internal maupun proyek. Dengan demikian gambaran tersebut memberikan masukan untuk memahami dan mengembangkan area penelitian berikutnya.

**METODE PENELITIAN**

Metode penelitian ini berdasarkan tinjauan pustaka yang membahas tentang identifikasi *safety* risiko, dan manajemen *risiko safety*, dalam penelitian ini diklasifikasikan jurnal apakah termasuk dalam faktor internal, eksternal maupun proyek. Penelitian ini berdasarkan 30 jurnal yang mempunyai rentan waktu tahun 1984 sampai dengan tahun 2020. Proses penelitian ini terdapat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian Tesis

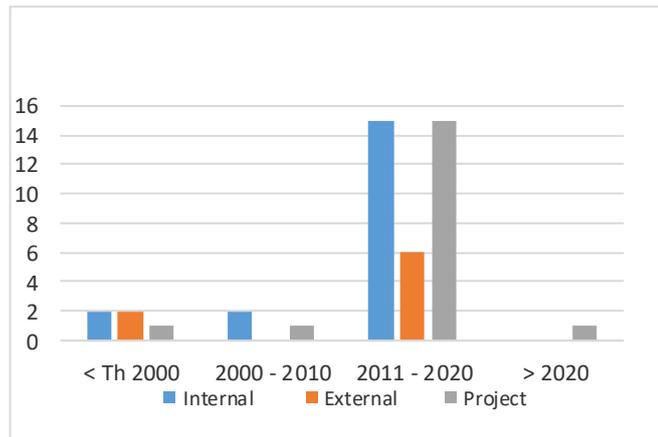
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Distribusi makalah yang ditinjau dari tahun publikasi dan disajikan dengan kategori risiko berdasarkan jurnal yang sudah di review terdapat pada Gambar. 2. Gambar 2 menunjukkan jumlah makalah yang diterbitkan per periode 10 tahun ulasan sebelum tahun 2000 hingga 2021.

Tabel 1 ditemukan pada jurnal yang sudah direview sebanyak 30 jurnal ini terdapat beberapa kategori risikonya, pada periode tahun 2001-2010 tidak ditemukan kategori risiko external sedangkan tahun > 2000 baru ditemukan kategori risiko pada project serta pada tahun 2011 – 2020 kategori risiko external ditemuka 6 risiko dan kategori pada Internal dan project masing masing 15 risiko.

Tabel 1. Pengelompokan *Risk Category* berdasarkan tahun terbitnya

	Internal	External	Project
< Th 2000	2	2	1
2001-2010	2	0	1
2011-2020	15	6	15
> Th 2020	0	0	1



Gambar 2 Grafik Kategori Risiko Internal, External, dan Project (Kang, *et al.*, 2011)

Tabel 2 Rangkuman Tinjauan Literatur Sistematis Identifikasi Risiko dalam Pembangunan Proyek Bendungan

No	Peneliti	Kategori Risiko						Hasil
		Internal		Eksternal		Proyek		
		T	NT	T	NT	T	NT	
1	(Adamo et al., 2020)	x	v	x	x	v	x	Di setiap poin manajemen risiko, tiga tindakan utama harus diambil; ini adalah analisis risiko, evaluasi risiko dan penilaian risiko.
2	(Latief et al., 2013)	x	x	x	x	v	v	Faktor-faktor yang sebagian besar termasuk dalam kategori kecelakaan berisiko tinggi seperti “spesifikasi peralatan keselamatan yang kurang”, permukaan dan platform kerja yang buruk”, “tingkat pendidikan pekerja yang rendah”, “kurangnya komitmen organisasi”, dan “Sumber daya keselamatan yang rendah / tidak ada”.
3	(Zielinski, 2014)	v	x	x	x	v	x	Dalam analisis keamanan bendungan, hasil dari kepentingan biasanya adalah yang mengakibatkan kegagalan bendungan yang dipahami sebagai pelepasan air yang disimpan yang tidak terkontrol. Mereka menunjukkan bahwa masalah partisi yang tidak memadai dapat diatasi dengan: Menggunakan jumlah interval yang sesuai, bergantung -ing pada kompleksitas pohon kejadian dan respon sistem bendungan.
4	(Luo et al., 2012)	v	x	x	v	x	x	Saat ini dalam penelitian pembongkaran bendungan, kerjasama antar negara dan wilayah yang berbeda ditingkatkan. Deskripsi kuantitatif, penggabungan beberapa proses, dan integrasi sistem menarik lebih banyak perhatian. Studi kuantitatif tentang kondisi kritis kegagalan bendungan dan waktu awal pembentukan jebol dan analisis ketidakpastian model yang umum digunakan.

5	(Rath et al., 2019)	v	x	x	x	x	x	Dalam konteks ini, waduk Rajghat hulu, yang memiliki kapasitas lebih tinggi, dapat diatur untuk meningkatkan keamanan bendungan Matatila hilir dan telah dipelajari dengan menghasilkan berbagai skenario.
6	(J. J. Brown & Thoman, 2009)	v	x	x	x	v	x	Kondisi tanah, hidrologi bawah permukaan dan permukaan, topografi, dan geologi yang spesifik untuk PRB dipertimbangkan, seperti juga persyaratan peraturan dari Kantor Insinyur Negara Bagian Wyoming dan Komisi Konservasi Minyak dan Gas Wyoming.
7	(Shaoqing Chen et al., 2010)	v	x	x	x	x	x	Analisis jaringan ekologi diusulkan sebagai metode analisis yang dapat digunakan dan kuat untuk memodelkan risiko ekologi dan dengan demikian mencapai penilaian risiko ekologi.
8	(Wieland, 2016)	v	x	x	x	x	x	Gempa bumi menciptakan berbagai bahaya seismik untuk bendungan seperti guncangan tanah, pergerakan sesar, pergerakan massa, dan lain-lain. Gerakan tanah yang dibutuhkan oleh insinyur bendungan bukanlah gerakan tanah gempa yang sebenarnya tetapi model gerakan tanah, yang memungkinkan desain bendungan yang aman.
9	(Neilsen & Cao, 2019)	v	x	x	x	x	x	Arsitektur perangkat lunak WinDAM Berikut ini, Bagian 2 mencakup perangkat lunak WinDAM yang dapat digunakan untuk mengevaluasi bendungan yang terkena banjir yang dapat mengakibatkan limpasan tanggul atau mengalir melalui jalur yang ada melalui tanggul - hingga WinDAM C.
10	(Richards et al., 2017)	v	x	x	x	x	x	Tiga mode kegagalan mengemudi risiko dipertimbangkan; perpindahan erosi ke belakang dengan pintu keluar vertikal, perpindahan erosi ke belakang dengan pintu keluar horizontal, dan erosi kontak. Risiko total proyek dinilai pertama kali dengan menggunakan pendekatan praktik terbaik untuk penilaian risiko bendungan.
11	(Garcia et al., 2019)	v	x	x	v	v	x	DSI juga dapat membantu manajer dengan jadwal pemeliharaan preventif dalam penilaian keamanan bendungan ketika mempertimbangkan bendungan kecil, penggunaan indeks lebih sederhana daripada alat analisis risiko biasa untuk memberikan informasi umum mengenai struktur. Hasil model risiko kuantitatif dapat digunakan untuk memprioritaskan investasi keamanan untuk keamanan bendungan.
12	(Nasrat Adamo et al., 2017)	v	x	x	x	v	x	Di setiap poin manajemen risiko, tiga tindakan utama harus diambil; ini adalah analisis risiko, evaluasi risiko dan penilaian risiko.

1 3	(Sun et al., 2016)	v	x	x	x	x	x	Ada banyak sambungan di dasar sungai yang membentuk pondasi baji miring ganda. kode desain bendungan gravitasi untuk mengevaluasi stabilitas bendungan terhadap longsor sepanjang permukaan yang rusak.
1 4	(E. T. Brown, 2017)	x	x	x	v	v	x	Sejumlah kegagalan bendungan beton besar, termasuk bendungan St. Francis, California, A.S., pada tahun 1928, serta dalam proses desain dan peninjauan bendungan. Kemajuan yang lebih baru mencakup serangkaian pendekatan analitis, pemodelan numerik, probabilistik, keandalan, mode kegagalan, dan penilaian risiko
1 5	(Shu Chen et al., 2021)	x	x	x	x	v	x	Karena lokasi konstruksi yang sempit, konstruksi intensif, dan angin kencang yang konstan, beberapa aktivitas bersamaan selama konstruksi bendungan beton terbukti menyebabkan konflik ruang dan meningkatkan frekuensi paparan bahaya.
1 6	(Bowles et al., 1998)	x	x	x	x	x	v	Proses penilaian risiko portofolio (PRA), menggunakan prosedur penilaian risiko keamanan bendungan tingkat pengintaian, memberikan profil risiko dari portofolio yang ada. Ini dapat digunakan untuk menilai potensi untuk mengurangi risiko yang ada dengan cara yang hemat biaya yang diharapkan bisa lebih cepat daripada yang akan dicapai dengan menggunakan prosedur pemeringkatan proyek keamanan bendungan tradisional.
1 7	(Martać et al., 2020)	x	x	x	v	x	x	menyelidiki bagaimana mengubah sistem pemantauan manual menjadi lingkungan yang cerdas menggunakan teknologi IoT, penerapan teknologi RFID Bluetooth dan IoT telah terbukti menjadi solusi keamanan bendungan yang memadai, terjangkau, dan andal.
1 8	(Heinz, 2012)	x	x	x	x	x	v	Selain itu, studi kasus ini menggambarkan masalah geoteknik dan kontrak yang khas di mana bendungan dibangun di atas granit sisa yang tersebar dan klien, konsultan desain (Engineer), kontraktor utama dan subkontraktor memiliki sedikit atau tidak ada pengalaman tentang formasi ini.
1 9	(Khan, 1984)	v	x	x	x	v	x	Hujan musim dingin sering mengakibatkan banjir bandang yang menyebabkan peningkatan cepat permukaan waduk. Akibatnya, air yang mengalir melalui inti memiliki kemiringan yang tinggi. Tanah dengan dispersif sedang, pada lingkungan seperti itu, dapat menjadi sangat menyebar. Mekanisme kegagalan tersebut telah didalilkan berdasarkan studi kasus kegagalan bendungan.

20	(Gulgec et al., 2016)	V	x	x	x	x	x	Studi yang disajikan di sini mencakup pendekatan tiga tahap untuk mengidentifikasi kebutuhan informasi untuk mengevaluasi risiko erosi internal bendungan tanggul. Para peserta termasuk ahli geologi, ahli hidrologi, insinyur struktur, insinyur geoteknik, dan insinyur sipil.
21	(Catalino, 1990)	X	x	x	x	x	v	1. Estimasi probabilitas pelampauan 2. Faktor-faktor yang tidak dapat diukur secara ekonomi seperti kerugian kehidupan manusia, kerugian sosial, dan dampak lingkungan lebih sulit untuk dilakukan mencerminkan dalam analisis risiko tetapi mungkin yang paling penting dalam membuat keputusan.
22	(Doğan, 2020)	X	x	x	x	x	v	Bendungan besar dipengaruhi secara terus menerus atau berkala oleh beberapa faktor seperti variasi suhu iklim, massa dan kekuatan air, berat bangunan, perpindahan kerak lokal dan regional dan lain-lain. Efek ini disebut deformasi dan menyebabkan variasi yang tidak diinginkan pada struktur.
23	(Bozorg-Haddad et al., 2016)	X	x	x	x	x	v	Salah satu alasan utama keterlambatan proyek-proyek tersebut disebabkan oleh pengabaian ketidakpastian yang melekat dalam penyelesaian tugas-tugas yang timbul dalam pembangunan bendungan. Manajer proyek sering menggunakan metode jalur kritis untuk menjadwalkan kegiatan tersebut. Batasan utama dari metode ini adalah waktu penyelesaian untuk aktivitas di dekat jalur kritis sering kali dinilai secara tidak akurat.
24	(Rezaian et al., 2016)	V	x	x	x	x	x	"Fragmentasi habitat", "polusi air", dan "efek berbahaya pada perairan "diakui sebagai tiga risiko prioritas utama Bendungan Gavi pada tahap konstruksi. Ada 8 habitat di lokasi pembangunan bendungan. Pekerjaan tanah dalam jumlah besar dan ledakan bahan peledak dapat mempengaruhi satwa liar dan menyebabkan fragmentasi habitat.
25	(Shaffiee Haghshenas et al., 2016)	X	x	x	x	v	x	Risiko kesalahan desain (R4) memiliki tingkat risiko tertinggi dan gempa bumi, dll. Memiliki tingkat risiko terendah dalam proyek bendungan Alavia.
26	(Shaoqing Chen et al., 2010)	v	x	x	x	x	x	Analisis jaringan ekologi diusulkan sebagai metode analisis yang dapat digunakan dan kuat untuk memodelkan risiko ekologi dan dengan demikian mencapai penilaian risiko ekologi.

2 7	(Fluixá-Sanmartín et al., 2020)	v	x	x	x	x	x	Dalam makalah ini, pendekatan baru diusulkan untuk manajemen risiko bendungan jangka panjang yang memperhitungkan potensi evolusi dengan waktu risiko dan efisiensi langkah-langkah pengurangan risiko. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk mencegah pemilihan tindakan yang tidak lagi diperlukan di masa mendatang atau melewatkan beberapa tindakan yang dapat mengurangi risiko di masa mendatang secara efisien.
2 8	(Owen et al., 2020)	v	x	x	x	x	v	risiko di delapan kategori: limbah, air, keanekaragaman hayati, penggunaan lahan, tanah masyarakat adat, kerentanan sosial, kerapuhan politik, serta persetujuan dan perizinan. Diterapkan pada sampel global tambang yang beroperasi, metode ini menunjukkan potensi risiko bencana dari bendungan tailing yang ada secara global.
2 9	(Shrestha & Kawasaki, 2020)	v	x	x	x	x	x	Risiko dinilai dengan berfokus pada kerusakan akibat banjir pada bangunan tempat tinggal dan aset serta sektor pertanian untuk kejadian banjir dan banjir terbesar baru-baru ini dengan periode ulang yang berbeda.
3 0	(Zhou et al., 2016)	x	x	x	x	x	v	Dalam proses pembangunan bendungan-beton dalam keadaan dunia nyata, jadwal produksi beton jarang dapat terlaksana sesuai rencana karena terjadinya berbagai kesalahan sistem produksi yang tidak dapat diprediksi, yang sangat mempengaruhi kecepatan suksesi, kualitas, dan kuantitas beton. penempatan

Penelitian Adamo et al. (2020) menganalisa bahwa Keamanan bendungan dan insiden bendungan terjadi disini dilihat dari perspektif "Faktor Manusia". Upaya dilakukan untuk mengeksplorasi faktor-faktor ini sebagai pendorong penting dalam kerusakan keamanan bendungan dan peningkatan risikonya. Perbedaan ditarik antara "Insiden Normal Akibat Manusia" dan "Insiden Luar Biasa yang Disebabkan Manusia" bersama dengan deskripsi asal-usul dan konsekuensi selanjutnya. Penelitian Latief et al. (2013) menganalisa tingkat risiko kecelakaan konstruksi pada suatu proyek. Kajian dilakukan terhadap proyek yang dikerjakan oleh perusahaan kontraktor di Indonesia, terdiri dari 3 jenis perusahaan yaitu Badan Usaha Milik Negara, Perusahaan Swasta dan Perusahaan Swasta Asing. Tingkat risiko dinilai dengan menggunakan indeks

signifikansi risiko berdasarkan kemungkinan kejadian dan dampaknya terhadap kecelakaan.

Penelitian Zielinski, (2014) menganalisa kegagalan bendungan yang dipahami sebagai pelepasan air yang disimpan secara tidak terkendali. Meskipun tidak ada batasan tentang kejadian awal, pendekatan yang paling umum adalah menggunakan kejadian di luar sistem fisik bendungan. Peristiwa eksternal ini terkait dengan bahaya alam dan biasanya hanya melibatkan bahaya hidrologi dan seismik. Dalam kondisi geografis dan topografi tertentu, tanah longsor atau efek angin juga dapat dimasukkan sebagai efek awal. Penelitian uo et al. (2012) menganalisa bahwa Erosi awal sering dimulai di dalam zona superkritis, terutama pada titik diskontinuitas lereng dan kemudian bentuk headcut atau beberapa headcut di lereng hilir, dan setelah itu headcut ini cenderung diperdalam dan

akhirnya bergabung menjadi satu migrasi hulu tunggal. Penelitian ini menggunakan pemodelan pemecah bendungan dilaboratorium dengan uji skala kecil.

Penelitian Rath et al. (2019) menganalisa pengaruh risiko banjir terhadap rancangan bendungan dengan melakukan pemodelan bendungan Matatila. Jika bendungan dan waduk bekerja bersama-sama tidak memiliki kapasitas hidrolis untuk menahan banjir rancangan yang diadopsi, bendungan tersebut tidak aman, menimbulkan potensi bahaya kegagalan bendungan dengan pelepasan air banjir yang tidak terkendali dan kerusakan pada orang dan properti di hilir. Oleh karena itu, langkah-langkah mitigasi direncanakan sebelumnya untuk mengatasi potensi bahaya. Kelayakan jenis tindakan seperti itu akan bergantung pada manfaat yang dihasilkannya serta sumber daya teknis dan keuangan yang tersedia bagi pemilik bendungan. Mengikuti langkah-langkah mitigasi yaitu struktural dan non-struktural direkomendasikan untuk memenuhi kapasitas hidrolis yang tidak memadai.

Penelitian Luo et al. (2012) menganalisa Alasan kegagalan bendungan yang dibagi menjadi dua jenis: penyebab alami dan atribut manusia. yang pertama meliputi: 1, penyebab eksternal, seperti hujan lebat, angin topan, gempa bumi, dll. 2, penyebab internal, penuaan material, cacat tubuh bendungan, cacat pondasi dan sebagainya. Atribut manusia antara lain: 1, pemanasan iklim global, yang meningkatkan sirkulasi atmosfer dan kemudian hujan deras meningkat, menyebabkan mundurnya gletser dan danau glasial terbentuk

dan ancaman jebol bendungan meningkat; 2, serangan teroris atau perang; 3, proyek konstruksi besar meningkatkan potensi ancaman jebolnya bendungan, misalnya terdapat sekitar 85 ribu waduk termasuk 30 ribu dalam bahaya, serta berbagai tanggul sepanjang sekitar 2500 ribu kilometer dalam sistem pengendalian banjir 7 sungai terbesar di China oleh 2009.

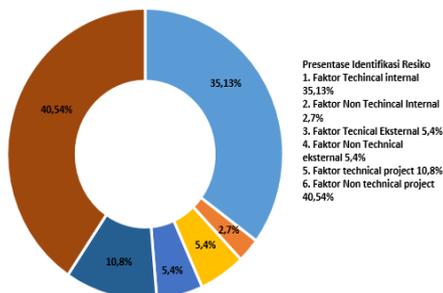
Penelitian Zielinski, (2014) menganalisa sistem bendungan memiliki banyak kesamaan dengan sistem infrastruktur rekayasa lainnya tetapi juga memiliki perbedaan yang signifikan dalam cara bendungan menanggapi bahaya. Akibat kondisi yang menyebabkan kegagalan komponen tertentu dapat memakan waktu sangat lama dan waktu yang diperlukan untuk beberapa mode kegagalan. Dalam hal ini, sistem bendungan berbeda dari sistem teknologi lain yang biasanya terdiri dari sejumlah besar komponen mekanis dan listrik yang saling berinteraksi dan saling terkait. Jika kegagalan komponen terjadi, itu terjadi hampir seketika dan efeknya menyebar dengan cepat ke seluruh bagian sistem ini yang bergantung pada komponen yang gagal. Jadi, dengan beberapa penyederhanaan yang tidak dapat dihindari, masih mungkin untuk membuat model dan menganalisis keandalan sistem yang dimaksud.

Hasilnya, 6 faktor yang mempengaruhi risiko safety dalam pembangunan proyek bendungan telah ditentukan. 6 faktor tersebut dapat dilihat pada Tabel 3

Tabel 3.3 Faktor-Faktor yang mempengaruhi Risiko safety

No	Faktor-Faktor yang mempengaruhi Risiko safety	Faktor-Faktor yang mempengaruhi Risiko safety Identifikasi Risiko Safety Dalam Pembangunan Proyek Bendungan
1	Faktor Technical Internal	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kompleksitas respon sistem bendungan</li> <li>2. Ketidakpastian desain bendungan</li> <li>3. Volume debit air yang besar</li> <li>4. Kondisi topografi tanah dan geologi tanah</li> <li>5. Kondisi hidrologi dibawah permukaan tanah</li> <li>6. Risiko ekologi</li> <li>7. Risiko gempa bumi, akibat pergeseran tanah, sesar dan pergerakan massa</li> <li>8. Risiko banjir dan limpasan pada bendungan</li> <li>9. Risiko erosi pada bendungan</li> <li>10. Risiko banyaknya sambungan di dasar sungai</li> <li>11. risiko stabilitas bendungan terhadap longsoran dan permukaan yang rusak</li> <li>12. Tanah dengan dispersif sedang</li> <li>13. Faktor risiko potensi evolusi jangka panjang</li> </ol>

2	Faktor Internal	Non Technical	1. risiko pemeliharaan preventif dan security bendungan
3	Faktor Eksternal	Technical	1. Risiko gempa Bumi 2. Risiko angin kencang yang konstan
4	Faktor Eksternal	Non Technical	1. pembagian wilayah dan kerjasama antar dua Negara 2. risiko pemeliharaan preventif dan security bendungan
5	Faktor Technical Project	Technical	1. Spesifikasi peralatan keselamatan yang kurang 2. Pelepasan air yang disimpan secara tidak terkendali 3. Masalah partisi yang tidak terkendali 4. Risiko kesalahan Desain bendungan pada saat proyek
6	Faktor Project	Non Technical	1. Platform kerja yang buruk 2. Tingkat pendidikan pekerja yang rendah 3. Kurangnya komitmen organisasi dan sumber daya keselamatan yang rendah/ tidak ada 4. Risiko Lokasi proyek yang sempit 5. Risiko anggaran biaya yang terbatas 6. Risiko kesalahan kontrak 7. Risiko konsultan yang tidak berpengalaman 8. Risiko masalah sosial dan dampak lingkungan 9. Risiko variasi iklim yang ekstrim 10. Risiko Kesalahan Manager proyek dalam menjadwalkan kegiatan project 11. Risiko penggunaan lahan adat, 12. Risiko kerapuhan politik 13. Risiko perizinan 14. risiko kerentanan social 15. Risiko terhambat karena jadwal produksi beton dan tidak dapat diprediksi



Gambar 3 Persentase Identifikasi Risiko safety dalam pembangunan proyek-proyek bendungan di beberapa Negara sejak tahun 1984-2020.

## KESIMPULAN

Hasil tinjauan literatur makalah ini didapatkan gambaran bahwa Faktor risiko yang paling utama adalah factor Non technical project (40.54%), peringkat ke-2 adalah factor technical internal (35.13%) dan Peringkat ke-3 adalah factor technical project (10.8%),

Peringkat ke-4 adalah factor technical eksternal dan non technical eksternal sedangkan faktor risiko terakhir adalah factor non technical internal (2,7%).

Dari tinjauan literatur ini, peneliti berikutnya dapat mengetahui potensi risiko

bahaya yang akan terjadi pada proyek konstruksi bendungan di beberapa negara sehingga menjadi acuan untuk mengembangkan penelitian dibidang mitigasi risiko pada proyek konstruksi bendungan. Juga meminimalisir potensi kecelakaan paling tinggi yang menyebabkan kematian. Penelitian ini juga menghimbau pejabat konstruksi, agar mereka dapat mengetahui seberapa bertanggung jawab mereka terhadap risiko keselamatan yang terjadi dalam proyek konstruksi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S. (2020). Dam Safety: Hazards Created by Human Failings and Actions. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, September, 65–107. <https://doi.org/10.47260/jesge/1113>
- Bowles, D. S., Anderson, L. R., Glover, T. F., & Chauhan, S. S. (1998). Portfolio Risk Assessment: a Tool for Dam Safety Risk Management. *1998 USCOLD Annual Lecture*, August, 13.
- Bozorg-Haddad, O., Orouji, H., Mohammad-Azari, S., Loáiciga, H. A., & Mariño, M.

- A. (2016). Construction Risk Management of Irrigation Dams. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(5), 04016009. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ir.1943-4774.0001001](https://doi.org/10.1061/(asce)ir.1943-4774.0001001)
- Brown, E. T. (2017). Reducing risks in the investigation, design and construction of large concrete dams. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2), 197–209. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2016.11.002>
- Brown, J. J., & Thoman, R. W. (2009). Sustainable design and construction of earthen-dam reservoirs for water produced in association with coalbed natural gas in the powder river Basin, Wyoming. *Proceedings of World Environmental and Water Resources Congress 2009 - World Environmental and Water Resources Congress 2009: Great Rivers*, 342, 5762–5771. [https://doi.org/10.1061/41036\(342\)584](https://doi.org/10.1061/41036(342)584)
- Catalino, B. (1990). *Private sector risk analysis: applied to dam safety*. 5(4), 379–384.
- Chen, Shaoqing, Fath, B. D., & Chen, B. (2010). Ecological risk assessment of hydropower dam construction based on ecological network analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 2(5), 725–728. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.083>
- Chen, Shu, Tian, Y., Jin, L., & Xiang, L. (2021). Estimating the Frequency of Exposure to Uncertain Hazards: Impact of Wind Conditions on Concrete Dam Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2), 04020167. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001972](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001972)
- Doğan, U. (2020). *Dam Safety and Deformation Monitoring Oymapınar*. 0(May), 5–10.
- Fluixá-Sanmartín, J., Escuder-Bueno, I., Morales-Torres, A., & Castillo-Rodríguez, J. T. (2020). Comprehensive decision-making approach for managing time dependent dam risks. *Reliability Engineering and System Safety*, 203(June 2019), 107100. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2020.107100>
- Garcia, L. C., Martim, A. L. S. S., Filho, J. G. D., & Fais, L. M. C. F. (2019). *DAMS SAFETY INDEX (DSI): A REASSESSMENT OF THE PARAMETERS OF ANALYSIS Dam Safety Index , small dams , statistical Dams provide a water supply , irrigation and power generation . However , the economic , social and environmental impacts are serious when . 4430*, 715–720.
- Gulgec, N. S., Ergun, S., Akinci, B., & Kelly, C. J. (2016). Integrated Information Repository for Risk Assessment of Embankment Dams: Requirements Identification for Evaluating the Risk of Internal Erosion. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(3), 04015038. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000509](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000509)
- Heinz, W. F. (2012). *Dams Founded on Dispersive Soils and Rocks Drilling and Grouting under Difficult Conditions*. 1134–1146. <https://doi.org/10.1061/9780784412350.0094>
- Kang, D., & Choi, B. K. (2011). The extended activity cycle diagram and its generality. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(2), 785–800. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.11.004>
- Khan, I. H. (1984). Failure of an earth dam: A case study. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(6), 814–815. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1984\)110:6\(814\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1984)110:6(814))
- Latief, Y., Suraji, A., Nugroho, Y. S., & Arifuddin, R. (2013). *a Comparative Study of Accident Risk Factors in Construction Project in Indonesia. Eppm*, 151–162. <https://doi.org/10.32738/ceppm.201310.0012>
- Luo, Y., Chen, L., Xu, M., & Tong, X. (2012). Review of dam-break research of earth-rock dam combining with dam safety management. *Procedia Engineering*, 28(2011), 382–388. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.737>
- Martać, R., Milivojević, N., Despotović-Zrakić, M., Bogdanović, Z., & Barać, D.

- (2020). Enhancing large dam safety using IoT technologies: A case of a smart dam. *Journal of Universal Computer Science*, 26(5), 583–603.
- Nasrat Adamo, Nadhir Al-Ansari, Jan Laue, Sven Knutsson, & Varoujan Sissakian. (2017). Risk Management Concepts in Dam Safety Evaluation: Mosul Dam as a Case Study. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 11(7), 635–652. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2017.07.002>
- Neilsen, M., & Cao, C. (2019). Sensitivity analysis of internal erosion models for dam safety. *Proceedings - 6th Annual Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2019, December*, 457–464. <https://doi.org/10.1109/CSCI49370.2019.00089>
- Owen, J. R., Kemp, D., Lèbre, Svobodova, K., & Pérez Murillo, G. (2020). Catastrophic tailings dam failures and disaster risk disclosure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101361>
- Rath, U., Mishra, S. K., & Rai, N. N. (2019). DAM SAFETY ANALYSIS OF MATATILA DAM FROM HYDROLOGIC AND DAM SAFETY ANALYSIS OF MATATILA DAM FROM HYDROLOGIC AND HYDRAULIC CONSIDERATIONS. *May*.
- Rezaian, S., Jozi, S. A., & Zaredar, N. (2016). Environmental risk assessment of a dam during construction phase. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(4), 345–356. <https://doi.org/10.22034/gjesm.2016.02.04.004>
- Richards, K. S., Kuo, C.-Y., Hockett, R. B., O'Neal, T. S., & Patev, R. C. (2017). *Simplified Length-Effect for Risk Assessment of Internal Erosion Moose Creek Dam, Alaska*. 209–222. <https://doi.org/10.1061/9780784480724.020>
- Shaffiee Haghshenas, S., Lashteh Neshaei, M. A., Pourkazem, P., & Shaffiee Haghshenas, S. (2016). The Risk Assessment of Dam Construction Projects Using Fuzzy TOPSIS (Case Study: Alavian Earth Dam). *Civil Engineering Journal*, 2(4), 158–167. <https://doi.org/10.28991/cej-2016-00000022>
- Shrestha, B. B., & Kawasaki, A. (2020). Quantitative assessment of flood risk with evaluation of the effectiveness of dam operation for flood control: A case of the Bago River Basin of Myanmar. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101707. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101707>
- Sun, G., Zheng, H., Huang, Y., & Xu, H. (2016). Improved Equal- K Method for Evaluation of Stability of Gravity Dams against Sliding along Deep-Failure Surfaces in Foundation: Case Study in China . *International Journal of Geomechanics*, 16(3), 06015007. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0000546](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0000546)
- Wieland, M. (2016). Safety Aspects of Sustainable Storage Dams and Earthquake Safety of Existing Dams. *Engineering*, 2(3), 325–331. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2016.03.011>
- Zhou, H. W., Zhou, Y. H., & Zhao, C. J. (2016). Fault-Response Mechanism of Production System in Concrete-Dam-Construction Simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142(11), 04016065. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001185](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001185)
- Zielinski, P. A. (2014). Event Trees in the Assessment of Dam Safety Risks. *Ancold 2014, November*