

# Pengembangan Standar *Work Breakdown Structure* (WBS) Pekerjaan Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Atas Jembatan Beton Berbasis Risiko untuk Meningkatkan Kinerja Keselamatan Konstruksi

Naufal Budi Laksono<sup>1\*</sup>, Yosua Togar Hasiholan<sup>1</sup>, Yusuf Latief<sup>1</sup> dan Danang Eko Saputro<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia 16424

<sup>2</sup> PT. Jasa Marga (Persero), Jakarta, Indonesia 13550

\* penulis koresponden: naufalbudilaksono@gmail.com

**Abstrak:** Kondisi kritis jembatan Indonesia dimana hanya 1,2% dari total 18.990 jembatan nasional yang berada dalam kondisi baik di Indonesia, menunjukkan tingginya urgensi pemeliharaan infrastruktur jembatan. Pekerjaan pemeliharaan dan perawatan menjadi aspek krusial untuk memastikan kualitas dan kelangsungan jembatan. Dalam konteks proyek konstruksi, pengembangan *Work Breakdown Structure* (WBS) pada tahap perencanaan dianggap sebagai elemen penting untuk menjamin kesuksesan proyek. Standar WBS berbasis risiko menjadi alat kunci dalam mengidentifikasi risiko pekerjaan dengan merinci setiap tahap hingga paket pekerjaan, efektif mengurangi dan mengendalikan potensi risiko kecelakaan kerja. Penelitian ini bertujuan mengembangkan standar WBS berbasis risiko khusus untuk pekerjaan pemeliharaan struktur atas jembatan beton. Standar yang dihasilkan terdiri dari 6 level, mencakup 27 variabel risiko dominan, dan menyajikan 3 rekomendasi respons risiko yang dapat diadopsi. Implementasi standar WBS ini diharapkan dapat meningkatkan kinerja keselamatan konstruksi, terutama dalam pengelolaan sumber daya dan pelaksanaan monitoring yang lebih baik. Sebagai panduan holistik, standar ini menjadi landasan untuk optimalisasi pekerjaan pemeliharaan, menjaga kualitas infrastruktur, dan mengurangi risiko potensial dalam proyek konstruksi. Dengan demikian, standar ini diharapkan dapat menjadi kontribusi signifikan dalam memperkuat keselamatan konstruksi, memajukan kualitas infrastruktur, dan menekan risiko potensial dalam proyek konstruksi di Indonesia.

**Kata kunci:** *Work Breakdown Structure* (WBS); Risiko; Pemeliharaan dan Perawatan; Struktur Atas Jembatan; Kinerja Keselamatan Konstruksi

Diterima: 30 Januari 2024  
Diperbaiki: 16 April 2024  
Disetujui: 23 April 2024

## 1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara kepulauan, memiliki kondisi topografi yang beragam, terdiri dari daratan dan perairan yang memerlukan infrastruktur penghubung, seperti jembatan, untuk mengintegrasikan wilayah yang terpisahkan oleh sungai, rawa, danau, atau selat [1]. Jembatan sebagai infrastruktur transportasi memiliki peran penting dalam memfasilitasi pergerakan lalu lintas serta memberikan dampak positif pada aspek ekonomi, sosial, politik, dan budaya [2]. Namun, perkembangan jembatan di Indonesia tidak terlepas dari tantangan, terutama terkait kondisi dan usia jembatan yang semakin mendekati batas layan maksimal [3]. Data terkini menunjukkan bahwa sekitar 80% jembatan di Indonesia mengalami kerusakan sedang hingga parah, menggambarkan urgensi pekerjaan

pemeliharaan dan perawatan [4]. Kurangnya pemeliharaan yang tepat dapat menyebabkan berbagai masalah struktural, seperti keausan, keretakan, dan deformasi pada elemen struktural jembatan [5].

Selain itu, risiko kecelakaan kerja dalam pekerjaan konstruksi, khususnya pada pemeliharaan dan perawatan jembatan, menjadi perhatian serius [6]. Statistik kecelakaan kerja di sektor konstruksi menunjukkan tingkat risiko yang tinggi, dengan sektor konstruksi menyumbang sekitar 32% dari keseluruhan kasus kecelakaan kerja di Indonesia [7]. Kecelakaan kerja tidak hanya menimbulkan kerugian finansial, tetapi juga kerugian sosial dan penderitaan manusia [8].

Dalam konteks ini, pengembangan *Work Breakdown Structure* (WBS) berbasis risiko menjadi krusial untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja dalam pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton. WBS yang baik dapat membantu mengidentifikasi, mengelompokkan, dan mengendalikan potensi risiko [9], sehingga tindakan pencegahan yang tepat dapat diambil sejak awal tahap perencanaan [10].

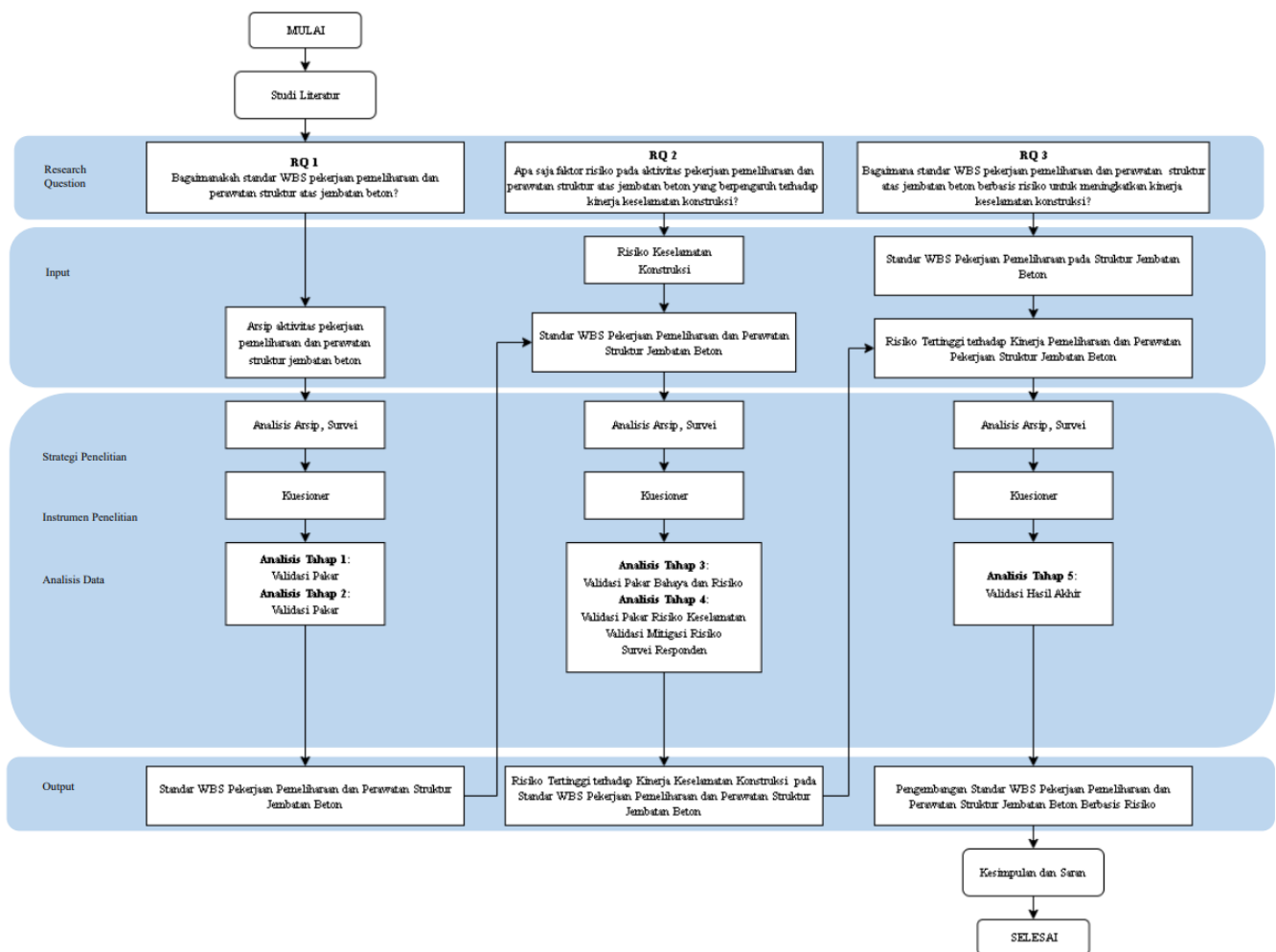
Namun, ketidaktersediaan standar WBS yang terkait dengan pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton dapat mengakibatkan ketidakmampuan dalam mengidentifikasi risiko secara efektif [11]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan standar WBS berbasis risiko sebagai solusi proaktif untuk meningkatkan kinerja keselamatan konstruksi pada pekerjaan pemeliharaan dan perawatan jembatan beton di Indonesia [12].

Dengan adanya pengembangan WBS berbasis risiko, diharapkan dapat meningkatkan pemahaman dan pengelolaan risiko pada tahap perencanaan, sehingga dapat mengurangi kemungkinan kecelakaan kerja [13], kerusakan jembatan [14], serta mengoptimalkan efisiensi pekerjaan pemeliharaan dan perawatan [15]. Selain itu, penelitian ini juga memberikan kontribusi terhadap pemahaman lebih lanjut terkait kebijakan keselamatan konstruksi dan pembangunan infrastruktur berkelanjutan di Indonesia.

Tujuan dari penelitian ini adalah merumuskan standar WBS pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton, mengidentifikasi faktor risiko aktivitas pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton yang memengaruhi kinerja keselamatan konstruksi, dan merumuskan pengembangan standar WBS pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton berbasis risiko untuk meningkatkan kinerja keselamatan konstruksi.

## 2. Metode

Gambar 1 adalah proses atau tahapan penelitian yang ditempuh untuk menjawab tujuan penelitian yang telah ditetapkan, sehingga dapat mencapai tujuan penelitian ini. Pada penelitian ini, terdapat dua variabel yaitu variabel X dan variabel Y. Variabel X merupakan faktor risiko dan variabel Y merupakan kinerja keselamatan konstruksi. Penelitian dimulai dengan melakukan arsip pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton, mengacu pada Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan No. 01/P/BM/2022 merupakan dokumen yang disusun oleh Balai Geoteknik, Terowongan, dan Struktur Direktorat Jenderal Bina Marga dan Keputusan Direksi Jasa Marga No. 159/KPTS/2022. Selanjutnya, dilakukan penyusunan WBS dari level 1-4 yakni tingkatan untuk nama jembatan, komponen jembatan, elemen utama dan kluster elemen, yang kemudian divalidasi oleh pakar. Proses ini dilanjutkan dengan penyusunan WBS level 5-6 yakni aktivitas dan sumber daya kemudian divalidasi pakar pada tahap akhir. Setelah terbentuknya WBS untuk pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas, dilakukan analisis arsip terhadap risiko keselamatan yang mungkin timbul selama aktivitas tersebut. Risiko ini terbagi atas risiko pekerja, sumber daya material, peralatan, dan lingkungan/publik sesuai dengan Permen PUPR No. 10 Tahun 2021. Risiko dan potensi bahaya yang diidentifikasi kemudian divalidasi oleh pakar, dan kategori risiko beserta upaya mitigasinya diperoleh, termasuk tindakan preventif dan korektif.



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

### 2.1. Partisipan

Penelitian ini difokuskan pada pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton, melibatkan partisipan yang memiliki keahlian dan pengalaman spesifik dalam domain tersebut, termasuk kontraktor, konsultan struktur, dan akademisi. Rekrutmen partisipan dilakukan dengan metode publikasi dan wawancara, dengan seleksi berdasarkan keahlian tertentu dalam pemeliharaan dan perawatan jembatan beton. Keberagaman partisipan penting untuk memastikan informasi yang diperoleh dalam penelitian ini akurat dan sesuai dengan tujuan penelitian.

### 2.2. Alat Ukur

Alat pengukur yang digunakan adalah kuesioner yang secara khusus dirancang untuk mendapatkan validasi dari para pakar mengenai Work Breakdown Structure (WBS) dan faktor-faktor risiko dalam pemeliharaan dan perawatan jembatan beton. Kuesioner ini mencakup pertanyaan yang dirancang untuk mengevaluasi berbagai aspek risiko dan tindakan mitigasi terkait dengan proyek tersebut. Pengembangan kuesioner mengacu pada penelitian sebelumnya, kebijakan pemerintah, dan regulasi, dengan skor berdasarkan penilaian risiko dan dampaknya pada keselamatan konstruksi. Alat pengukur ini memiliki peran signifikan dalam pengumpulan data yang handal dan valid untuk analisis lebih lanjut.

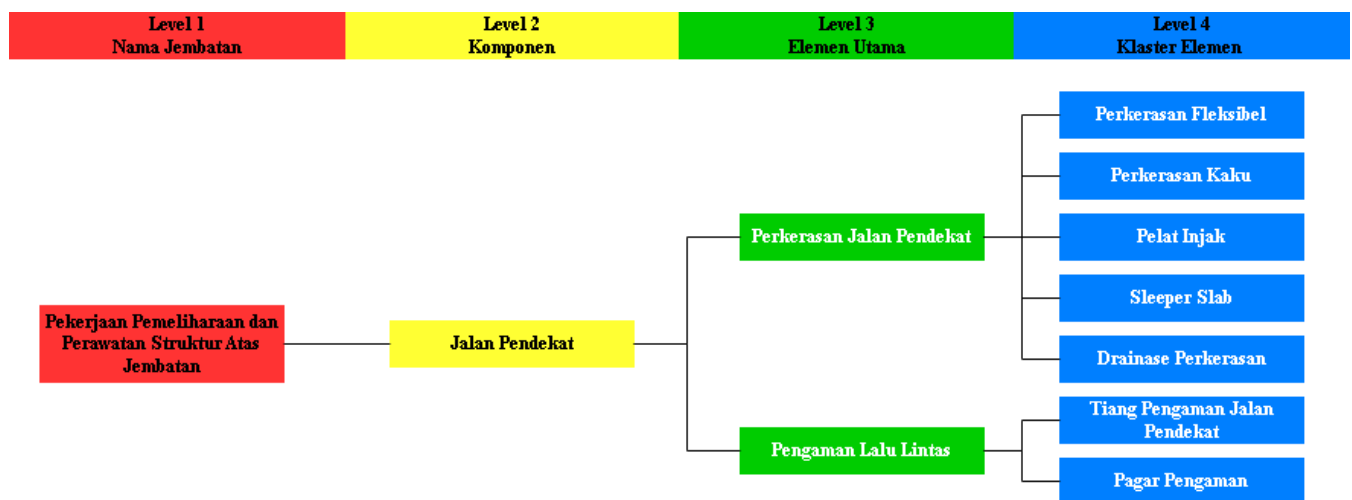
### 2.3. Prosedur Penelitian

Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap utama: tahap persiapan dan tahap pelaksanaan. Pada tahap persiapan, dilakukan analisis arsip untuk merancang Work Breakdown Structure dan melakukan identifikasi serta analisis risiko yang berkaitan dengan pekerjaan struktur bawah jembatan beton. Tahap ini melibatkan pengumpulan data yang luas dari berbagai sumber untuk memastikan bahwa semua aspek risiko diidentifikasi dan dianalisis secara menyeluruh. Setelah tahap persiapan selesai, penelitian berlanjut ke tahap pelaksanaan yang melibatkan penyebaran kuesioner kepada para pakar. Penyebaran kuesioner dilakukan baik secara offline maupun online, memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber dan lokasi.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Standar WBS Pekerjaan Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Atas Jembatan Beton

Hasil yang didapatkan pada RQ 1 yaitu *tree diagram* sebagai bentuk grafis dari WBS yang telah terbentuk. *Tree diagram* ini digunakan untuk mendetailkan pekerjaan menjadi lebih terperinci yang berfungsi untuk membantu *stakeholder* proyek dalam memahami komponen proyek mulai dari level teratas hingga terbawah. Berikut merupakan salah satu contoh untuk *tree diagram* dari WBS pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton pada paket pekerjaan jalan pendekat, dimana secara lengkap WBS akan terdapat pada appendix.



**Gambar 2.** *Tree diagram* WBS komponen jalan pendekat

### 3.2. Faktor Risiko pada Aktivitas Pekerjaan Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Atas Jembatan Beton yang Berpengaruh terhadap Kinerja Keselamatan Konstruksi

Hasil yang didapatkan pada RQ 2 yaitu faktor risiko yang terdapat pada setiap aktivitas pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton. Dimana risiko yang dipertimbangkan dalam upaya mitigasi risiko merupakan risiko keselamatan dengan level risiko tinggi hingga sangat tinggi yaitu sebanyak 27 faktor risiko. Berikut merupakan faktor risiko pada aktivitas pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton. Berdasarkan analisis data dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa standar Work Breakdown Structure (WBS) untuk pemeliharaan dan perawatan struktur bawah jembatan beton telah berhasil divalidasi dan disusun. Struktur WBS meliputi enam level, mulai dari nama proyek hingga sumber daya, dengan fokus utama pada bangunan bawah, jalan pendekat, aliran sungai, dan gorong-gorong. Didapatkan pada WBS level 2 terdapat 4 (empat) rumpun pekerjaan yaitu bangunan bawah, jalan pendekat, aliran Sungai, dan gorong-gorong. Kemudian pada WBS level 3 terdapat 11

elemen utama dan pada WBS level 4 terdapat 44 kluster elemen selanjutnya didekomposisi menjadi aktivitas pekerjaan sebagai WBS level 5 dan sumber daya pada WBS level 6. Tabel 1 merupakan *tree diagram* dari WBS Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Bawah Jembatan Beton.

Selanjutnya, dilakukan mitigasi risiko dilakukan melalui tindakan preventif berdasarkan penyebab dari faktor risiko tersebut sehingga diharapkan tindakan ini dapat digunakan untuk mengembangkan WBS berbasis risiko. Terdapat 30 tindakan preventif dari hasil analisis risiko tertinggi berdasarkan studi literatur [10,16–18] yang sudah divalidasi oleh pakar.

**Tabel 1.** Risiko pekerjaan aktivitas pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton

Kode	Deskripsi Risiko			Nilai Risiko	Kategori Risiko	Peringkat Risiko	
	Identifikasi Bahaya		Identifikasi Risiko				
	Tipe Bahaya	Uraian Bahaya	Tipe Risiko				Uraian Risiko
X1	Pekerja	Pembagian tugas dan wewenang tidak jelas	Pekerja	Kesalahan koordinasi	14	Risiko Tinggi	5
X13		Ketidaktelitian tenaga ahli dalam memberikan rekomendasi standar operasional		Kesalahan prosedur operasional yang dilakukan oleh pekerja	13	Risiko Tinggi	11
X17 X21		Pekerja terjatuh dari ketinggian		Cedera berat/terluka, fatality	13	Risiko Tinggi	3
X29		Tertabrak alat berat		Cedera berat/terluka, fatality	12	Risiko Tinggi	5
X37		Penggunaan tenaga kerja tidak sesuai keahlian		Hasil pekerjaan berpotensi bahaya terhadap keselamatan	12	Risiko Tinggi	9
X3 X7 X11		Peralatan yang tidak sesuai dengan kondisi kerja		Peralatan tidak optimal sehingga melakukan hasil yang salah	14	Risiko Tinggi	7
X15		Spesifikasi peralatan tidak sesuai dengan perencanaan		Kualitas peralatan rendah sehingga mudah rusak	16	Risiko Tinggi	14
X19 X23		Peralatan tidak sesuai dengan metode pekerjaan		Alat tidak dapat digunakan	14	Risiko Tinggi	12
X27		Korsleting, terbakar		Kerusakan alat	11	Risiko Tinggi	9
X31 X35		Alat terguling		Kerusakan alat	12	Risiko Tinggi	1
X39	Quality Control penggunaan alat tidak dilakukan dengan baik	Peralatan tidak optimal sehingga melakukan hasil yang salah	16	Risiko Tinggi	7		
X2 X6	Sumber Daya Material	Tidak memperhitungkan ketersediaan material	Sumber Daya Material	Volume material di lapangan kurang	15	Risiko Tinggi	12

Deskripsi Risiko					Nilai Risiko	Kategori Risiko	Peringkat Risiko
Kode	Identifikasi Bahaya		Identifikasi Risiko				
	Tipe Bahaya	Uraian Bahaya	Tipe Risiko	Uraian Risiko			
		pada saat pelaksanaan					
X38		Kelangkaan material sesuai spesifikasi perencanaan pekerjaan		Material datang terlambat	15	Risiko Tinggi	17
X8 X12		Timbulnya kemacetan		Gangguan produktivitas masyarakat	11	Risiko Tinggi	15
X20	Lingkungan/Publik	Volume debu meingkat	Lingkungan/Publik	Pencemaran lingkungan	14	Risiko Tinggi	15
X28 X32 X36		Bencana alam		Kerusakan properti hingga keruntuhan jembatan	11	Risiko Sangat Tinggi	1
X40		Penggunaan material yang berdampak buruk bagi lingkungan		Kerusakan ekostem/ isu lingkungan	15	Risiko Tinggi	3

Tabel 2. Tindakan preventif risiko

Kode	Tindakan Preventif
TP1	Membuat sistem mekanisme pengawasan dan pemeriksaan secara berkala
TP2	Memberikan pelatihan dan pengembangan keterampilan pekerja
TP3	Melakukan klarifikasi untuk memastikan gambar rencana/dokumen spesifikasi dapat dipahami dengan baik
TP4	Memberikan pelatihan untuk memastikan keakuratan pengukuran dan pencatatan
TP5	Membuat panduan operasional dan memastikan seluruh pekerja memahami
TP6	Memastikan setiap peralatan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi yang diperlukan
TP7	Meningkatkan transparansi dengan menyediakan informasi secara terbuka
TP8	Membuat rencana manajemen lalu lintas yang komprehensif dan melibatkan pihak berwenang
TP9	Menerapkan sistem pengawasan yang efektif selama pelaksanaan dan melibatkan inspektur
TP10	Memberikan pelatihan kepada pekerja mengenai prosedur operasional yang berlaku
TP11	Melakukan pengujian dan pengecekan alat sebelum digunakan
TP12	Memastikan peralatan sudah memenuhi standar yang berlaku
TP13	Mengawasi dan menegakkan kepatuhan terhadap prosedur keselamatan
TP14	Melakukan audit keselamatan lingkungan dan mengidentifikasi potensi bahaya
TP15	Melakukan pemeliharaan dan menyusun jadwal inspeksi alat secara teratur
TP16	Meningkatkan pengetahuan tanda-tanda awal kerusakan alat
TP17	Memilih bahan kimia yang ramah lingkungan atau mencari alternatif lain

Kode	Tindakan Preventif
TP18	Menerapkan prosedur pengelolaan limbah yang ketat
TP19	Melakukan pengawasan rutin terhadap perilaku pekerja
TP20	Menyusun alternatif alat yang akan digunakan pada proyek
TP21	Melengkapi APD pekerja
TP22	Melaksanakan maintenance peralatan secara rutin
TP23	Memastikan bangunan dan struktur mematuhi standar tahan bencana alam
TP24	Memberikan edukasi kepada lingkungan proyek untuk menghadapi situasi darurat
TP25	Membuat prosedur yang jelas dan terstruktur untuk melakukan seleksi berdasarkan kualifikasi, pengalaman dan kesesuaian tenaga ahli dengan tugas yang akan dilakukan
TP26	Menetapkan pertemuan rutin antara human capital dan pimpinan manajemen untuk mendiskusikan kualifikasi dan penempatan tenaga ahli
TP27	Menyepakati spesifikasi atau alternatif material yang ekuivalen
TP28	Melakukan pengawasan rutin dan menyeluruh terkait program sistem manajemen keselamatan konstruksi (SMKK)
TP29	Membuat instruksi kerja (IK) untuk masing-masing pekerjaan dan pengoperasian alat
TP30	Mengadakan investigasi lingkungan proyek

Standar WBS Pekerjaan Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Atas Jembatan Beton terdiri dari enam level yang secara sistematis mengorganisir proyek. Level-level tersebut mencakup aspek-aspek seperti Nama Jembatan, Komponen, Elemen Utama, Klaster Elemen, Aktivitas, dan Sumber Daya. Struktur WBS yang dihasilkan memberikan gambaran yang jelas dan terorganisir, memudahkan pelaksanaan serta pengelolaan proyek pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton dengan efektif.

Selanjutnya, analisis risiko pada aktivitas pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton menghasilkan identifikasi 27 variabel risiko dengan tingkat risiko bervariasi. Faktor-faktor risiko melibatkan berbagai aspek termasuk pekerja, peralatan, material, dan lingkungan. Temuan ini menggambarkan hubungan antara faktor risiko tertentu dengan kesesuaian sumber daya dan bentuk/pelaksanaan monitoring. Informasi ini memberikan pemahaman mendalam mengenai dampak risiko pada aspek kritis dalam aktivitas pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton.

Terakhir, Standar WBS Pekerjaan Pemeliharaan dan Perawatan Struktur Atas Jembatan Beton Berbasis Risiko memberikan rekomendasi tambahan berupa 28 tindakan preventif, dengan penekanan pada kesesuaian sumber daya dan bentuk/pelaksanaan monitoring [19]. Tambahan ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja keselamatan konstruksi [20]. Meskipun tidak ada rekomendasi tindakan preventif khusus yang memengaruhi koefisien WBS, penambahan ini diharapkan dapat memberikan langkah-langkah yang efektif dalam mengelola risiko pada aktivitas pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini mencakup beberapa aspek kunci. Pertama, standar *Work Breakdown Structure* (WBS) pekerjaan pemeliharaan dan perawatan struktur atas jembatan beton telah berhasil dirumuskan dengan jelas dalam enam level. Mulai dari Nama Jembatan, Komponen, Elemen Utama, Klaster Elemen, Aktivitas, dan Sumber Daya. Kedua, analisis risiko pada aktivitas pekerjaan tersebut mengidentifikasi 27 variabel risiko kategori risiko tinggi hingga sangat tinggi. Variabel risiko melibatkan aspek pekerja, peralatan, sumber daya material, dan lingkungan/publik. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa faktor risiko (X) memiliki korelasi positif signifikan terhadap kesesuaian sumber daya (Y1) dan

bentuk/program *monitoring* dalam kinerja keselamatan konstruksi (Y2). Terakhir, penerapan standar WBS berbasis risiko dapat meningkatkan kinerja keselamatan konstruksi. Adapun pengembangan standar WBS dilakukan berdasarkan rekomendasi tindakan preventif yang terdiri dari tambahan pada persyaratan pekerjaan sebanyak 28 tindakan, penambahan pada elemen WBS terkait sebanyak 7 tindakan, dan tambahan pada manajemen sebanyak 4 tindakan. Sementara itu, pada rekomendasi kegiatan tindakan preventif pada risiko bersangkutan tidak didapatkan rekomendasi melalui penambahan pada WBS lain dan memengaruhi koefisien WBS

## Daftar Pustaka

- [1] Sunaryo T. Indonesia Sebagai Negara Kepulauan. 2019;2.
- [2] Kamil I, Plamonia M, Halim I, Kasim IM, Alias B. PENDEKATAN BARU STRATEGI PEMELIHARAAN ASET INFRASTRUKTUR JALAN RAYA BERKELANJUTAN DI INDONESIA. Simp II UNIID 2017. 2017 Sep 27;2(1):53–61.
- [3] GANI B. EVALUASI METODE “BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM” INDONESIA (Studi Kasus Jembatan Kabupaten Agam) [Internet] [masters]. Universitas Andalas; 2016 [cited 2023 Aug 27]. Available from: <http://scholar.unand.ac.id/17349/>
- [4] Permana SB. PEMETAAN DAN PROSES MITIGASI RISIKO JEMBATAN DI INDONESIA MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC SEBAGAI DASAR PERENCANAAN KEGIATAN PEMELIHARAAN JEMBATAN [Internet]. Universitas Gadjah Mada; 2018 [cited 2023 Aug 27]. Available from: [https://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail\\_pencarian/154792](https://etd.repository.ugm.ac.id/home/detail_pencarian/154792)
- [5] Ir. I Gede Putu Joni MT. FAKTOR-FAKTOR PENYEBAB KEGAGALAN STRUKTUR JEMBATAN. 2017 Jul [cited 2024 Apr 16]; Available from: <https://erepo.unud.ac.id/id/eprint/12725/>
- [6] Muhammad Ridho Fakhri A. Universitas Indonesia Library. 2021 [cited 2023 Jul 27]. Evaluasi Kelembagaan pada Pembangunan Infrastruktur Jalan Tol Trans Sumatera Berbasis Risiko untuk Meningkatkan Kinerja Waktu = Risk-Based Institutional Evaluation of Trans Sumatera Toll Road Infrastructure Development to Improve Time Performance. Available from: <https://lib.ui.ac.id>
- [7] Redaksi. Konstruksi Penyumbang Terbesar Kecelakaan Kerja di Indonesia [Internet]. Konstruksi Media. 2022 [cited 2024 Apr 16]. Available from: <https://konstruksimedia.co.id/konstruksi-penyumbang-terbesar-kecelakaan-kerja-di-indonesia/>
- [8] Endroyo B. KESELAMATAN KONSTRUKSI: KONSEPSI DAN REGULASI. J Tek Sipil Dan Perenc. 2009;11(2):169–80.
- [9] Su L. WBS-based Risk Identification for the Whole Process of Real Estate Project and Countermeasures. In Atlantis Press; 2012 [cited 2024 Apr 16]. p. 72–5. Available from: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/citcs-12/2965>
- [10] Li QF, Zhang P, Fu YC. Risk Identification for the Construction Phases of the Large Bridge Based on WBS-RBS. Res J Appl Sci Eng Technol. 2013;6(9):1523–30.
- [11] Jati DB, Latief Y. Development of risk-based standardized Work Breakdown Structure (WBS) to improve time performance on high-speed railway construction project. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020 Sep;930(1):012065.
- [12] Ganesdhi GA, Latief Y, Nugroho DB. Development Of Risk-Based Work Breakdown Structure (WBS) Standards For Integrated Design And Construction Phase On Design-Build Method Of Architectural Works Of High-Rise Building To Improve Construction Safety Performance. Int J Sci Technol Manag. 2023 Jul 23;4(4):792–801.
- [13] Maulana FA, Latief Y. Development of Risk-Based Standardized WBS (Work Breakdown Structure) for Safety Planning of Coal Mine Project with Surface Mining Methode. IOP Conf Ser Mater Sci Eng. 2020 Dec;1007(1):012005.



- [14] Chen TT. Factors in Bridge Failure, Inspection, and Maintenance. *J Perform Constr Facil.* 2017 Oct 1;31.
- [15] Abbassi R, Arzaghi E, Yazdi M, Aryai V, ... Risk-based and predictive maintenance planning of engineering infrastructure: existing quantitative techniques and future directions. *Process Saf ...* [Internet]. 2022; (Query date: 2024-04-09 06:08:55). Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582022006589>
- [16] Cheng MY, Chiu YF, Chiu CK, Prayogo D, Wu YW, Hsu ZL, et al. Risk-based maintenance strategy for deteriorating bridges using a hybrid computational intelligence technique: a case study. *Struct Infrastruct Eng.* 2019 Mar 4;15(3):334–50.
- [17] Saydam D, Frangopol DM. Risk-Based Maintenance Optimization of Deteriorating Bridges. *J Struct Eng.* 2015 Apr 1;141(4):04014120.
- [18] Juliastuti, Setyandito O, Suangga M, Sulistyono D. The river flow regime assessment model of bridge condition rating for preventive maintenance program. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2018 Dec;195(1):012019.
- [19] An Y, Chatzi E, Sim SH, Laflamme S, Blachowski B, Ou J. Recent progress and future trends on damage identification methods for bridge structures. *Struct Control Health Monit.* 2019;26(10):e2416.
- [20] Choi HH, Lee SY, Choi IY, Cho HN, Mahadevan S. Reliability-based failure cause assessment of collapsed bridge during construction. *Reliab Eng Syst Saf.* 2006 Jun 1;91(6):674–88.

