

ANALISIS RISIKO KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA PADA PEKERJAAN INSTALASI SEGMENTAL BOX GIRDER JEMBATAN MENGGUNAKAN METODE HIRARC

Betty Susanti¹, Anisah Sekar Dinata², Ika Juliantina³, Citra Indriyati⁴,
Balqis Fataya Said⁵

Program Studi Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Sriwijaya^{1,2,3,4,5}

E-mail : bettysusanti@ft.unsri.ac.id¹, anisahsekardinata@gmail.com²,
ikajuliantina@ft.unsri.ac.id³, citraindriyati@ft.unsri.ac.id⁴,
balqis.said20@gmail.com⁵

ABSTRAK

Instalasi segmental box girder pada konstruksi jembatan merupakan salah satu pekerjaan dengan tingkat risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) yang signifikan karena memiliki kompleksitas teknis yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengendalikan risiko K3 pada pekerjaan instalasi segmental box girder dengan studi kasus pada Jembatan Musi V Palembang. Metode HIRARC digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengendalikan risiko pada proyek studi kasus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 68 faktor risiko yang tersebar dalam 16 aktivitas pekerjaan. Berdasarkan analisis *probability-impact* dan *severity index*, diperoleh 6 faktor risiko dengan tingkat risiko tinggi dan 62 faktor risiko lainnya termasuk dalam kategori risiko sedang. Pengendalian risiko dilakukan terhadap faktor-faktor risiko dengan tingkat tinggi berdasarkan hirarki pengendalian, meliputi eliminasi risiko, substitusi, rekayasa teknis, pengendalian administratif, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD). Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa penerapan sistem manajemen K3 konstruksi yang komprehensif dan konsisten sangat diperlukan untuk meminimalkan potensi bahaya pada pekerjaan instalasi segmental box girder jembatan.

Kata Kunci : HIRARC; Jembatan, Keselamatan dan Kesehatan Kerja; Risiko; Segmental Box Girder

PENDAHULUAN

Infrastruktur jembatan memiliki peran yang strategis dalam mendukung konektivitas dan pertumbuhan ekonomi wilayah. Jembatan dibangun untuk menghubungkan antar wilayah yang memiliki hambatan geografis (misalnya sungai) atau untuk mengatasi konflik di persimpangan sebidang seperti jalan rel atau jalan raya (Zhou dan Zhang, 2019; Chang dan Choo, 2009). Mengingat konstruksi jembatan merupakan proses yang kompleks dan membutuhkan pembiayaan yang tinggi, maka inovasi di bidang teknologi maupun proses

konstruksi jembatan sangat dibutuhkan. Inovasi ini diharapkan dapat berkontribusi dalam menghasilkan jembatan dengan kualitas yang lebih baik, biaya yang lebih efisien, serta waktu pengerjaan yang lebih cepat, sebagaimana ditunjukkan dalam Mounata, dkk (2024), Wang, dkk (2024), dan Zheng (2024).

Salah satu teknologi konstruksi yang banyak diterapkan saat ini untuk pembangunan jembatan bentang panjang adalah penggunaan metode balance cantilever (Lucko dan de la Garza, 2003; Kwak dan Son, 2004; Patil dan Talikoti, 2014; serta Vega, dkk. 2026). Pada pekerjaan konstruksi jembatan, metode

balance cantilever digunakan pada proses instalasi girder, terutama di lokasi kerja yang sulit. Selain itu, metode *balance cantilever* juga sesuai digunakan di lokasi proyek yang tidak memungkinkan penggunaan perancah. Dengan metode *balance cantilever*, segmen-segmen girder jembatan diinstal secara seimbang dari kedua sisi pier jembatan sehingga membantu keseimbangan momen dari struktur jembatan pada saat pelaksanaan konstruksi.

Girder merupakan bagian dari elemen struktur atas jembatan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan meneruskannya ke elemen struktur bawah jembatan. Material untuk struktur girder jembatan dapat berupa baja, beton bertulang, beton prategang, maupun material komposit. Instalasi girder harus dibantu menggunakan peralatan berat dengan kapasitas yang besar, dilakukan di ketinggian, serta membutuhkan banyak tenaga kerja konstruksi. Kajian yang dilakukan oleh Lubis (2020), Febrianto, dkk (2022), Saputra, dkk (2023), Komalasari, dkk (2024), Az-Zahra, dkk (2024), Fitriadi (2025), Fahri dan Harun (2025), Novisa (2025), dan Hermendo (2026) menunjukkan bahwa proses instalasi girder sebagai aktivitas konstruksi yang berpotensi menimbulkan bahaya tinggi, yang dapat berdampak terhadap aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Untuk itu, analisis risiko K3 terhadap proses instalasi girder perlu diterapkan, agar risiko K3 dapat dikenali dan dikendalikan secara tepat.

Penelitian ini secara spesifik bertujuan untuk menganalisis risiko K3 pada pekerjaan instalasi girder jembatan. Studi kasus dilakukan pada proyek konstruksi Jembatan Musi V di Kota Palembang. Jembatan ini merupakan bagian dari koridor Jalan Tol Trans Sumatera (JTTS) yang menghubungkan Provinsi Sumatera Selatan dengan Provinsi Jambi. Instalasi elemen girder pada Jembatan Musi V menggunakan metode *balance cantilever*. Material girder yang digunakan pada jembatan ini merupakan segmental box girder yang di cor di tempat (*cast in situ*). Mengingat kompleksnya pekerjaan di lapangan yang dapat berdampak terhadap tingginya risiko K3, maka diperlukan analisis risiko K3 pada pekerjaan instalasi segmental box girder. Penelitian ini menggunakan

metode HIRARC untuk menganalisis risiko K3 pada pekerjaan yang ditinjau, karena metode ini memberikan pendekatan yang sederhana dan terstruktur dalam mengidentifikasi, menganalisis, dan menentukan pengendalian risiko secara komprehensif.

TINJAUAN PUSTAKA

Manajemen Risiko Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan sektor yang memiliki risiko tertinggi terkait dengan aspek K3 dibandingkan dengan sektor industry lainnya seperti manufaktur, pertambangan, dan transportasi, sebagaimana ditunjukkan dalam Supriyatna, dkk (2020). Hal ini menunjukkan pentingnya penerapan manajemen risiko pada proyek konstruksi, agar risiko dapat diidentifikasi, dianalisis, direspon, dan dikendalikan dengan tepat. Berdasarkan ISO (2018) dan PMI (2021), risiko didefinisikan sebagai kondisi ketidakpastian, yang jika terjadi dapat memberikan dampak positif maupun negative terhadap satu atau beberapa tujuan proyek. Berdasarkan Szymański (2017), Alshehhi, dkk (2024), dan Aikpokhio, dkk (2024), penerapan manajemen risiko pada proyek konstruksi memiliki peran yang penting dalam mendukung pencapaian tujuan proyek konstruksi.

Aspek keselamatan dan kesehatan kerja harus menjadi salah satu tujuan dalam setiap penyelenggaraan proyek konstruksi, sehingga manajemen risiko terkait dengan aspek K3 mutlak dibutuhkan. Sejalan dengan ILO (2001), pendekatan manajemen risiko K3 secara umum terdiri dari identifikasi bahaya yang mungkin terjadi pada setiap aktivitas proyek, analisis risiko berdasarkan penilaian peluang dan dampak kejadian risiko, penyusunan strategi penanganan atau respon risiko yang tepat, serta penyusunan strategi pengendalian risiko secara hirarkis. Strategi penanganan dan pengendalian risiko dapat disusun dengan tepat berdasarkan hasil dari analisis risiko. Kajian yang dilakukan oleh Pratama, dkk (2025) menunjukkan terdapat berbagai metode yang dapat digunakan untuk menganalisis risiko K3 pada proyek konstruksi, diantaranya *Job Safety Analysis (JSA)*, *Failure Mode and Effect Analysis*

(FMEA), *Hazard and Operability Study* (HAZOP), *Event Tree Analysis* (ETA), *Risk Matrix*, serta *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC).

Konstruksi Jembatan

Konstruksi jembatan melibatkan proses yang kompleks untuk mewujudkan bangunan yang aman serta memenuhi standar keselamatan. Secara umum, konstruksi jembatan terdiri dari elemen struktur bawah (pondasi, abutment, pier), struktur atas (pelat lantai kendaraan, girder), serta sistem pendukung (drainase, trotoar). Berdasarkan sistem strukturnya, jembatan dapat diklasifikasikan menjadi jembatan balok (*beam bridge*), jembatan rangka (*truss bridge*), jembatan lengkung (*arch bridge*), jembatan gantung (*suspension bridge*), dan jembatan kabel pancang (*cable-stayed bridge*). Terdapat berbagai factor yang mempengaruhi pemilihan sistem struktur jembatan, namun factor utama pada umumnya terkait dengan beban rencana, panjang bentang, serta metode pelaksanaan konstruksi jembatan.

Kemajuan teknologi di bidang konstruksi secara umum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap metode pelaksanaan konstruksi jembatan (Schweigert, dkk. 2018, dan Hassan dan Sennah, 2025). Salah satu contoh perkembangan teknologi di bidang material konstruksi jembatan adalah penggunaan material beton pracetak untuk girder, pelat lantai, dan berbagai elemen struktur bawah jembatan. Teknologi material precast yang dikombinasikan dengan sistem prategang saat ini banyak diterapkan pada proyek konstruksi jembatan bentang menengah hingga bentang panjang. Penggunaan material beton pracetak ini memungkinkan proses konstruksi jembatan menjadi lebih cepat dan menghasilkan kualitas yang lebih baik. Meskipun penggunaan teknologi material precast saat ini cenderung semakin meningkat, namun penggunaan material yang dicor di tempat juga masih banyak digunakan. Penggunaan material ini umumnya digunakan pada proyek konstruksi jembatan yang membutuhkan fleksibilitas bentuk geometri struktur atau karena pertimbangan kondisi di lokasi proyek.

Perkembangan teknologi di bidang peralatan konstruksi telah mempermudah proses instalasi berbagai material pembentuk elemen jembatan. Peralatan berat modern dengan kapasitas besar seperti crane, *launching girder*, dan *form traveller* dapat membantu proses instalasi material (misal girder) menjadi lebih cepat dan presisi, meskipun dilakukan di area kerja yang terbatas. Perkembangan teknologi peralatan ini memberikan kemudahan terutama pada penggunaan sistem *incremental launching* dan *balanced cantilever*. Secara umum, perkembangan teknologi ini dapat meningkatkan efisiensi, efektivitas, serta keselamatan dan kesehatan kerja dalam pelaksanaan konstruksi jembatan, sebagaimana ditunjukkan dalam Schweigert, dkk (2018).

Risiko K3 Pekerjaan Instalasi Girder

Girder merupakan elemen struktur atas jembatan yang berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban dari pelat lantai kendaraan (deck slab) ke elemen struktur bawah jembatan (pier dan abutment). Berdasarkan jenis materialnya, girder dibedakan menjadi girder beton bertulang, girder beton prategang, girder baja, dan girder komposit. Bentuk penampang girder dapat dibedakan menjadi I-Girder (PCI Girder), T-Girder, U-Girder, dan box girder. Dibandingkan dengan jenis penampang lainnya, box girder memiliki kekakuan lentur dan kekakuan torsi yang lebih tinggi. Box girder juga memiliki kemampuan distribusi beban yang merata, sehingga banyak digunakan pada jembatan bentang panjang atau jembatan lengkung (Rachma dan Sarifah, 2025; Abood dan Abdul-Razzaq, 2024).

Instalasi girder jembatan pada umumnya memiliki tingkat risiko yang tinggi, karena melibatkan pekerjaan yang bersifat *heavy lifting*, penggunaan alat-alat berat dengan kapasitas besar, serta kondisi area kerja yang dinamis. Kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko K3 bagi pekerja, sebagaimana ditunjukkan dalam Saputra, dkk (2023) dan Komalasari, dkk (2024). Berbagai penelitian menunjukkan potensi risiko yang mungkin terjadi pada pekerjaan instalasi girder, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu Risiko K3 Pada Pekerjaan Instalasi Girder

No	Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
1	Penempatan <i>form traveller</i> di lokasi <i>assembly</i>	R1	Tertabak dan terlindas alat berat	•		•	•		•	•			
		R2	Alat berat terguling	•		•							
		R3	Pekerja terkena gerakan <i>swing</i> dari crane		•						•		
		R4	Sling terputus	•									
2	Persiapan Pekerjaan <i>Form Traveller</i>	R5	Terjepit material yang dipindahkan			•				•	•		
		R6	Tersengat listrik		•	•			•		•		
		R7	Terhirup debu atau uap dari aktivitas lain di proyek			•						•	
3	<i>Marking/Stake out</i> oleh Surveyor	R8	Jatuh dari ketinggian			•						•	
		R9	Iritasi dan gangguan lain pada mata			•					•		
4	Instalasi <i>Form Traveller</i>	R10	Pekerja jatuh dari ketinggian	•							•		
		R11	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh	•		•	•	•		•		•	
		R12	Gangguan akibat kebisingan alat			•				•	•		
5	Pemasangan Pembesian dan <i>Post Tension Bar</i>	R13	Terpotong alat		•	•							
		R14	Luka terkena kawat		•							•	
		R15	Kaki/tangan tergores tulangan		•							•	
		R16	Terluka akibat pengelasan tulangan		•	•					•	•	•
6	Instalasi dan Setting <i>Inner Web, End</i> dan <i>Side Form</i>	R17	Bekisting roboh			•							
		R18	Jatuh saat pemasangan bekisting						•				
7	Pengecoran Segmen Box Girder	R19	Kulit terkena semen/beton		•	•					•		
		R20	Bekerja dalam kondisi cuaca tidak baik						•				
		R21	Terhirup debu dan asap dari proses pengecoran			•				•	•		
8	Install <i>Strand</i>	R22	Tertusuk material baja					•			•		
		R23	Terkena gerinda		•			•		•			
		R24	Terjatuh		•			•				•	
9	<i>Stressing</i> Segmen Box Girder	R25	Terjepit alat jack				•						
		R26	Terkena <i>strand</i> yang terputus	•			•						
		R27	Tertusuk ujung <i>strand</i>					•					
		R28	Material jatuh dari ketinggian	•				•					
		R29	Tangan tersayat <i>strand</i>				•				•		
10	Pemotongan <i>Strand</i>	R30	Tangan terkena gerinda		•	•	•	•		•	•		
		R31	Terkena serpihan <i>strand</i>				•						
11	<i>Grouting</i>	R32	Pekerja terkena material <i>grouting</i> yang tumpah	•		•	•	•		•			
		R33	Tertimpa mesin <i>grouting</i>					•				•	
		R34	Terpapar bahan kimia/ material berbahaya	•				•	•	•	•		•
12	Pembongkaran <i>Front Formwork</i>	R35	Jatuh saat pembongkaran bekisting						•				
		R36	Tertimpa, terjepit, terbentur material	•	•						•	•	•
		R37	Tergores dan tertusuk besi			•						•	•
13	Launching Traveller	R38	Tertimpa, terjepit, terbentur material	•	•						•	•	
		R39	Jatuh kedalam sungai			•							
14	<i>Side Closure</i> (Pemasangan <i>Shoring/Ringlock</i>)	R40	<i>Shoring</i> ambruk	•					•				

Keterangan:

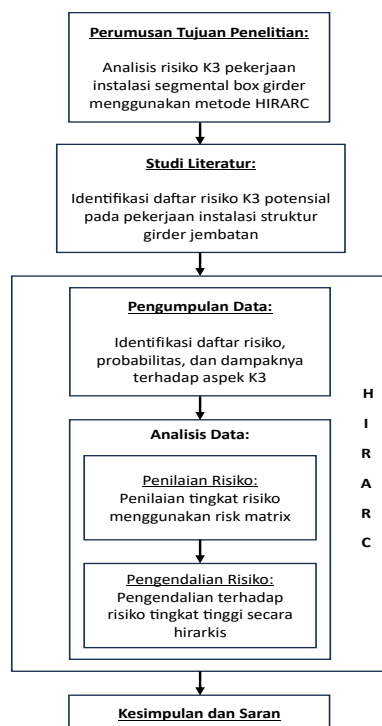
a = Tjakra dkk (2022); **b** = Nugroho dan Purwanto (2024); **c** = Hartono, dkk (2024); **d** = Rohman dan Rohman (2022); **e** = Muka (2024); **f** = Konstandakopoulou (2024); **g** = Rosdiana, dkk (2017); **h** = Sadewa (2021); **i** = Salamah dkk (2022).

Tabel 1 menunjukkan bahwa sebanyak 40 faktor teridentifikasi sebagai potensi risiko pada pekerjaan instalasi girder jembatan. Secara umum, potensi berbagai risiko tersebut disebabkan oleh factor peralatan, manusia,

lingkungan, serta metode pelaksanaan konstruksi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis risiko K3 pada pekerjaan instalasi segmental box girder jembatan menggunakan metode HIRARC. Studi kasus dilakukan pada proyek konstruksi Jembatan Musi V Palembang, yang merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Sumatera ruas Kayu Agung-Palembang-Betung. Secara garis besar, tahapan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan identifikasi risiko K3 pada pekerjaan instalasi struktur girder jembatan. Identifikasi risiko tahap awal dilakukan melalui studi literatur terhadap berbagai referensi yang terkait langsung dengan risiko K3 pada pekerjaan jembatan, sesuai dengan tahapan pelaksanaan pekerjaan instalasi struktur girder jembatan.

Tahap selanjutnya adalah melakukan proses pengumpulan data menggunakan kuisioner. Pengumpulan data ini dilakukan untuk menentukan daftar risiko yang potensial terjadi, serta menentukan nilai probabilitas dan dampak risiko terhadap bahaya K3 pada proyek studi kasus. Skala likert digunakan untuk menilai probabilitas dan dampak risiko. Kuisioner untuk identifikasi risiko dirancang dengan kombinasi pertanyaan tertutup dan terbuka, sehingga memungkinkan identifikasi factor risiko dari proyek studi kasus menjadi lebih komprehensif.

Hasil pengumpulan data selanjutnya dianalisis menggunakan metode *severity index* untuk menentukan probabilitas dan dampak risiko berdasarkan hasil penilaian dari seluruh responden. Metode *probability-impact* digunakan untuk menentukan tingkat risiko dan strategi pengendaliannya. Faktor-faktor risiko yang termasuk dalam kategori tingkat risiko tinggi akan dikendalikan menggunakan prinsip pengendalian risiko secara berjenjang. Metode HIRARC secara keseluruhan tercermin dalam proses pengumpulan dan analisis data. Tahap akhir penelitian adalah menentukan kesimpulan dan saran berdasarkan temuan utama dari penelitian ini.

HASIL PENELITIAN

Deskripsi Proyek Studi Kasus

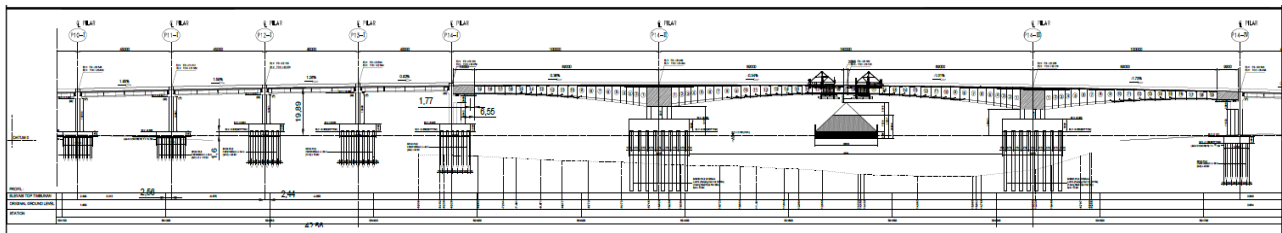
Proyek Jembatan Musi V merupakan salah satu proyek infrastruktur strategis di Provinsi Sumatera Selatan, yang merupakan bagian dari jaringan Jalan Tol Trans Sumatera di ruas jalan Kayu Agung-Palembang-Betung. Jembatan Musi V memiliki panjang bentang 1.684 meter dan lebar 25 meter. Total biaya proyek untuk pekerjaan jembatan adalah Rp. 1,427 Triliun. Gambar 2 menunjukkan lokasi proyek Jembatan Musi V.



Gambar 2. Lokasi Jembatan Musi V

Konstruksi jembatan Musi V menggunakan tipe beton prategang. Struktur bawah jembatan menggunakan pondasi *bored pile* dan pier beton, sedangkan struktur atas jembatan menggunakan segmental girder. Girder tipe PC-I digunakan pada elemen

struktur pendekat jembatan, sedangkan segmental box girder digunakan pada bagian bentang tengah jembatan. Profil rencana konstruksi Jembatan Musi V ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil Rencana Jembatan Musi V

Instalasi segmental box girder pada jembatan ini menggunakan sistem konstruksi balance cantilever. Pada proyek ini, box girder di cor di tempat (*cast in situ*) untuk selanjutnya dipasang secara bertahap dan seimbang dari masing-masing sisi pier jembatan (sisi kiri dan kanan) menggunakan bantuan alat form traveller. Pada setiap tahap pemasangan segmental box girder, dilakukan proses tendon stressing untuk mengunci segmen girder menjadi struktur permanen yang kuat. Proses post-tensioning ini juga memungkinkan proses instalasi segmental box girder berikutnya dapat berlangsung aman dan efektif.

Gambar 4 menunjukkan proses instalasi box girder pada proyek Jembatan Musi V. Box girder yang digunakan berupa material beton prategang dengan bentuk penampang trapesium. Segmental box girder diinstal menggunakan *form traveller*. *Form traveller*

pada proyek ini difungsikan sebagai sistem penggantung atau penopang besikisting sekaligus juga sebagai alat penggerak bekisting untuk proses pengecoran segmental box girder selanjutnya.



Gambar 4. Proses Instalasi Segmental Box Girder Proyek Musi V

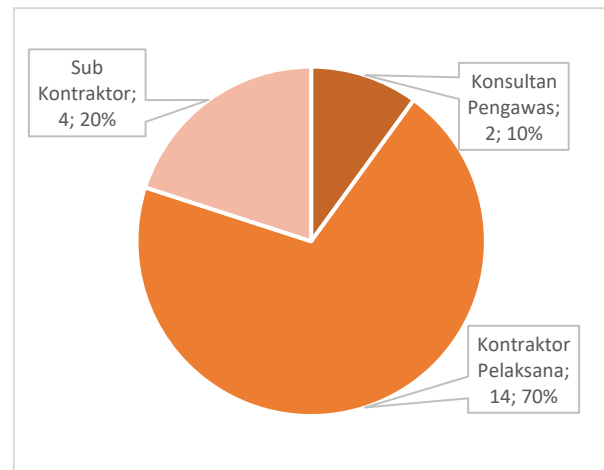
Ditinjau dari aspek K3, proses instalasi segmental box girder pada proyek Jembatan Musi V memiliki kompleksitas teknis yang e-ISSN ; 2548-6209 p-ISSN ; 2089-2098

tinggi. Hal ini mengindikasikan tingkat paparan bahaya dan risiko K3 yang signifikan, sehingga analisis dan pengendalian risiko secara terstruktur perlu dilakukan.

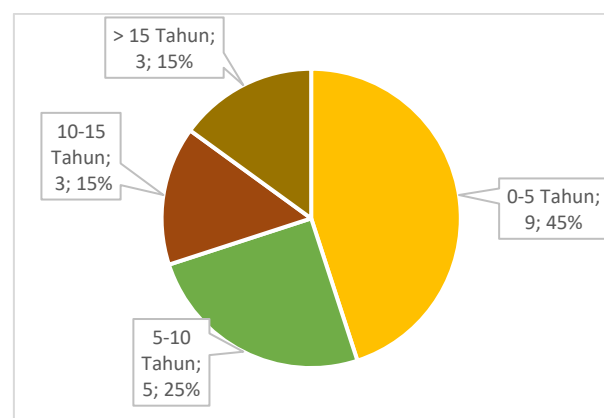
Identifikasi Bahaya

Identifikasi bahaya pekerjaan instalasi segmental box girder pada Jembatan Musi V dilakukan melalui survey menggunakan metode kuisisioner. Kuisisioner dirancang dengan dua tipe pertanyaan, yaitu (1) pertanyaan tertutup untuk mengidentifikasi bahaya berdasarkan *check list* bahaya pada Tabel 1, serta (2) pertanyaan terbuka untuk mengidentifikasi bahaya yang spesifik terjadi pada proyek Musi V berdasarkan persepsi responden. Karakteristik responden pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.

Sebanyak 20 orang pekerja konstruksi dari proyek Jembatan Musi V menjadi responden pada penelitian ini, dimana 70% responden berasal dari organisasi kontraktor, 20% dari sub kontraktor, dan 10% dari konsultan pengawas. Berdasarkan pengalaman kerja di bidang konstruksi, sebanyak 45% responden memiliki pengalaman kerja kurang dari 5 tahun; 25% responden memiliki pengalaman kerja 5-10 tahun, dan 30% responden memiliki pengalaman kerja lebih dari 10 tahun. Hal ini mengindikasikan bahwa pemilihan responden dapat memberikan gambaran yang tepat mengenai identifikasi bahaya dan penilaian risiko pada pekerjaan instalasi segmental box girder.



Gambar 5. Organisasi Responden



Gambar 6. Pengalaman Kerja Responden

Hasil identifikasi bahaya pekerjaan instalasi segmental box girder pada proyek Jembatan Musi V ditunjukkan pada Tabel 2. Sebanyak 68 faktor berpotensi menjadi bahaya pada pekerjaan instalasi segmental box girder, yang tersebar mulai dari pekerjaan persiapan hingga finishing. Potensi bahaya secara umum disebabkan oleh interaksi multidimensional antara factor pekerja, peralatan, kondisi lingkungan kerja, dan metode pelaksanaan konstruksi.

Tabel 2. Identifikasi Bahaya K3 Pekerjaan Instalasi Segmental Box Girder Jembatan Musi V

No	Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya
1	Persiapan Lahan Lokasi <i>Assembly Process (Land clearing)</i>	R1	Alat berat terguling (<i>excavator</i> ambruk)
2	Penempatan <i>Form Traveller</i> dilokasi <i>Assembly Process</i>	R2	Terjepit material yang dipindahkan
		R3	Tertabrak dan terlindas alat berat
		R4	Alat berat terguling
		R5	Pekerja terkena gerakan <i>crane/swing crane</i>
		R6	Sling terputus
3	Persiapan Pekerjaan <i>Form Traveller (Loading Test)</i>	R7	Terjepit material yang dipindahkan
		R8	Tersengat listrik
		R9	Gagal mengoperasikan (alat berat)
		R10	Terhirup debu atau uap

No	Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya
		R11	Tertabrak dan terlindas alat berat
		R12	Traveller terguling /ambruk
		R13	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh
4	<i>Marking/Stake out</i> Oleh Surveyor	R14	Jatuh dari ketinggian
		R15	Iritasi mata saat mengukur
		R16	Terpapar sinar matahari berlebih
5	Instalasi <i>Form Traveller (Setting)</i>	R17	Pekerja jatuh dari ketinggian
		R18	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh
		R19	Gangguan akibat kebisingan alat
		R20	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R21	Alat berat terguling (<i>crane</i> ambruk)
		R22	<i>Sling</i> terputus
		R23	Pekerja terpeleset saat bekerja
6	Pemasangan Pembesian dan <i>Post Tension Bar</i>	R24	Terpotong alat
		R25	Terluka (terkena kawat)
		R26	Tergores tulangan
		R27	Terluka akibat pengelasan tulangan
		R28	Pekerja tersengat listrik
		R29	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R30	Pekerja terpeleset saat bekerja
7	Instalasi dan Setting <i>Inner Web, End</i> dan <i>Side Form</i>	R31	Bekisting roboh
		R32	Jatuh saat pemasangan bekisting
8	Pengecoran Segmen Box Girder	R33	Kulit terkena semen/beton
		R34	Cuaca tidak menentu
		R35	Pekerja terhirup debu dan udara kotor
		R36	Pipa <i>concrete portable</i> terlepas dari ikatan
		R37	<i>Sling</i> bergeser dan terjatuh (pada pemindahan pipa)
9	<i>Install Strand</i>	R38	Tertusuk material baja
		R39	Terkena gerinda
		R40	Pekerja terjatuh
		R41	Tergelinding dan terjepit (<i>coil strand</i> yang diangkat)
10	<i>Stressing</i> Segmen Box Girder	R42	Terjepit alat jack
		R43	Terkena <i>strand</i> yang terputus
		R44	Tertusuk ujung <i>strand</i>
		R45	Material jatuh dari ketinggian
		R46	Tangan tersayat <i>strand</i>
11	Pemotongan <i>Strand</i>	R47	Tangan terkena gerinda
		R48	Mata terkena serpihan <i>strand</i>
12	<i>Grouting</i>	R49	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh
		R50	Tertimpa mesin <i>grouting</i>
		R51	Terpapar bahan kimia/ material berbahaya
		R52	Mata terkena serpihan
		R53	Tersengat listrik
13	Pembongkaran <i>Front Formwork</i>	R54	Jatuh saat pembongkaran bekisting
		R55	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R56	Tergores dan tertusuk besi
14	<i>Launching Traveller</i>	R57	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R58	Jatuh kedalam sungai
		R59	<i>Traveller</i> terguling /ambruk
15	<i>Side Closure</i> (Pemasangan <i>Shoring/ Ringlock</i>)	R60	<i>Shoring</i> ambruk
		R61	Pekerja terjatuh
		R62	Alat berat terguling (<i>crane</i> ambruk)
		R63	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R64	Pekerja terkena gerakan <i>crane/swing crane</i>
		R65	<i>Sling</i> terputus
16	Melepaskan <i>Safety Desk</i> dan <i>Finishing</i>	R66	Tertimpa, terjepit, terbentur material
		R67	Pekerja terkena / tergores
		R68	Pekerja terjatuh dari ketinggian

Analisis Risiko

Risiko K3 pekerjaan instalasi segmental box girder dianalisis menggunakan metode probability-impact. Penilaian *probability* atau frekuensi kejadian risiko dan penilaian *impact* atau besarnya dampak risiko dilakukan oleh responden menggunakan skala sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Skala Penilaian Probabilitas Risiko

Skala Probabilitas	Deskripsi
5	Insiden dapat terjadi dalam setiap shift kerja
4	Insiden dapat terjadi sekali dalam satu hari
3	Insiden dapat terjadi sekali dalam satu minggu
2	Insiden dapat terjadi sekali dalam satu bulan
1	Insiden dapat terjadi sekali dalam satu tahun atau lebih

Tabel 4. Skala Penilaian Dampak Risiko

Skala Dampak	Deskripsi
5	Insiden yang menyebabkan lebih dari satu korban meninggal dunia atau lebih dari satu korban mengalami cacat permanen
4	Insiden yang menyebabkan satu korban meninggal dunia atau satu korban mengalami cacat permanen
3	Insiden yang menyebabkan lebih dari satu korban harus mendapatkan penanganan medis rawat inap
2	Insiden yang menyebabkan satu korban harus mendapatkan penanganan medis rawat inap
1	Insiden yang hanya membutuhkan penanganan berupa P3K tanpa mengakibatkan hilangnya waktu kerja

Hasil penilaian probabilitas dan dampak risiko dari seluruh responden, selanjutnya dianalisis secara kuantitatif menggunakan metode *Severity Index*. Metode ini dapat merepresentasikan persepsi yang beragam dari seluruh responden menjadi satu nilai yang representative. Perhitungan *severity index* dilakukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i \cdot x_i)}{N \cdot n}$$

Tabel 6. Tingkat Risiko K3 Pekerjaan Instalasi Segmental Box Girder Jembatan Musi V

No	Deskripsi Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya	Probabilitas (P)		Dampak (I)		Nilai Risiko (P x I)
				SI (%)	Skala	SI (%)	Skala	
1	Persiapan Lahan Lokasi Assembly	R1	Alat berat terguling (<i>Excavator</i> Ambruk)	36	2	70	4	8

Dimana:

SI : *Severity index* (untuk probabilitas dan dampak risiko)

a_i : skala penilaian (1 s/d 5)

x_i : jumlah tanggapan responden pada masing-masing skala penilaian

N : total jumlah responden

n : angka tertinggi dari skala likert

Perhitungan *severity index* untuk probabilitas dan dampak dari setiap factor risiko selanjutnya dikonversi menjadi skala nilai sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 5. Nilai yang diperoleh dari perhitungan *severity index* menjadi dasar untuk menentukan tingkat risiko. Factor risiko dengan nilai perkalian probability-impact ($P \times I$) ≥ 15 diklasifikasikan sebagai factor risiko dengan tingkat risiko tinggi.

Tabel 5. Penilaian Severity Index

Probabilitas	Dampak	SI (%)	Skala Nilai
Hampir pasti terjadi	Sangat Besar	> 80 - 100	5
Sangat mungkin terjadi	Besar	> 60 - 80	4
Mungkin terjadi	Sedang	> 40 - 60	3
Kecil kemungkinan terjadi	Kecil	> 20 - 40	2
Hampir tidak pernah terjadi	Sangat Kecil	≤ 20	1

Tabel 6 menunjukkan hasil penilaian tingkat risiko K3 pada pekerjaan instalasi segmental box girder Jembatan Musi V. Hasil analisis risiko menunjukkan sebanyak 62 faktor risiko atau 91,2% factor risiko berada pada kategori tingkat risiko sedang, sedangkan 6 faktor risiko atau 8,8% termasuk dalam kategori risiko tingkat tinggi. Pada penelitian ini tidak ditemukan risiko dengan tingkat rendah, yang mengindikasikan bahwa pekerjaan instalasi segmental box girder pada proyek konstruksi Jembatan Musi V memiliki tingkat kompleksitas dan bahaya yang signifikan.

No	Deskripsi Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya	Probabilitas (P)		Dampak (I)		Nilai Risiko (P x I)
				SI (%)	Skala	SI (%)	Skala	
	<i>Process (Land clearing)</i>							
2	Penempatan Form Traveller dilokasi Assembly Process	R2	Terjepit material yang dipindahkan	58	3	60	3	9
		R3	Tertabrak & Terlindas Alat Berat	40	2	77	4	8
		R4	Alat berat terguling	42	3	78	4	12
		R5	Pekerja Terkena Gerakan Crane/Swing (Putaran) Crane	49	3	65	4	12
		R6	Sling Terputus	46	3	89	5	15
3	Persiapan Pekerjaan Form Traveller (Loading Test)	R7	Terjepit material yang dipindahkan	60	3	60	3	9
		R8	Tersengat Listrik	42	3	67	4	12
		R9	Gagal Mengoperasikan (Alat Berat)	38	2	73	4	8
		R10	Terhirup Debu atau uap	77	4	39	2	8
		R11	Tertabrak & Terlindas Alat Berat	36	2	79	4	8
		R12	Traveller Terguling /Ambruk	32	2	87	5	10
		R13	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh	52	3	77	4	12
4	Marking/Stake out Oleh Surveyor	R14	Jatuh dari Ketinggian	53	3	79	4	12
		R15	Mata terganggu saat mengukur	64	4	34	2	8
		R16	Terpapar Sinar Matahari Berlebih	87	5	34	2	10
5	Instalasi Form Traveller (Setting)	R17	Pekerja Jatuh dari ketinggian	54	3	81	5	15
		R18	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh	56	3	82	5	15
		R19	Gangguan Akibat Kebisingan Alat	68	4	33	2	8
		R20	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	60	3	68	4	12
		R21	Alat berat terguling (Crane Ambruk)	34	2	87	5	10
		R22	Sling Terputus	38	2	82	5	10
		R23	Pekerja Terpeleset Saat Bekerja	68	4	60	3	12
		R24	Terpotong Alat	48	3	54	3	9
6	Pemasangan Pembesian dan Post Tension Bar	R25	Terluka Terkena Kawat	75	4	33	2	8
		R26	Tergores Tulangan	70	4	29	2	8
		R27	Terluka Akibat Pengelasan Tulangan	58	3	42	3	9
		R28	Pekerja Tersengat Listrik	44	3	69	4	12
		R29	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	59	3	65	4	12
		R30	Pekerja Terpeleset saat Bekerja	61	4	54	3	12
7	Instalasi dan Setting Inner Web, End dan Side Form	R31	Bekisting Roboh	43	3	74	4	12
		R32	Jatuh Saat Pemasangan Bekisting	54	3	68	4	12
8	Pengecoran Segmen Box Girder	R33	Kulit Terkena semen/beton	85	5	29	2	10
		R34	Cuaca Tidak Menentu	75	4	44	3	12
		R35	Pekerja Terhirup Debu dan Udara Kotor	73	4	34	2	8
		R36	Pipa Concrete Portable terlepas dari ikatan	51	3	56	3	9
		R37	Sling Bergeser dan Terjatuh (Pada pemindahan Pipa)	38	2	66	4	8
9	Install Strand	R38	Tertusuk Material Baja	50	3	55	3	9
		R39	Terkena Gerinda	49	3	64	4	12
		R40	Pekerja Terjatuh	55	3	79	4	12
		R41	Tergelinding dan Terjepit (Coil Strand yang diangkat)	40	2	68	4	8
10	Stressing Segmen Box Girder	R42	Terjepit alat jack	41	3	62	4	12
		R43	Terkena Strand Yang Terputus	42	3	84	5	15
		R44	Tertusuk Ujung Strand	47	3	53	3	9
		R45	Material jatuh dari Ketinggian	51	3	79	4	12
		R46	Tangan Tersayat Strand	50	3	44	3	9
11	Pemotongan Strand	R47	Tangan Terkena Gerinda	49	3	57	3	9
		R48	Mata Terkena Serpihan Strand	45	3	51	3	9
12	Grouting	R49	Pekerja terkena lontaran material atau material yang jatuh	48	3	64	4	12
		R50	Tertimpa Mesin Grouting	37	2	66	4	8
		R51	Terpapar Bahan kimia/ Material Berbahaya	45	3	50	3	9

No	Deskripsi Pekerjaan	Kode Risiko	Bahaya	Probabilitas (P)		Dampak (I)		Nilai Risiko (P x I)
				SI (%)	Skala	SI (%)	Skala	
		R52	Mata Terkena Serpihan	47	3	50	3	9
		R53	Tersengat Listrik	42	3	67	4	12
13	Pembongkaran <i>Front Formwork</i>	R54	Jatuh Saat Pembongkaran Bekisting	54	3	75	4	12
		R55	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	56	3	62	4	12
		R56	Tergores dan Tertusuk Besi	53	3	49	3	9
14	<i>Launching Traveller</i>	R57	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	48	3	66	4	12
		R58	Jatuh Kedalam Sungai	47	3	81	5	15
		R59	Traveller Terguling /Ambruk	39	2	97	5	10
15	<i>Side Closure (Pemasangan Shoring/ Ringlock)</i>	R60	<i>Shoring</i> Ambruk	36	2	90	5	10
		R61	Pekerja Terjatuh	51	3	76	4	12
		R62	Alat berat terguling (<i>Crane</i> Ambruk)	33	2	85	5	10
		R63	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	55	3	67	4	12
		R64	Pekerja Terkena Gerakan <i>Crane/Swing</i> (Putaran) <i>Crane</i>	42	3	68	4	12
		R65	Sling Terputus	38	2	82	5	10
16	Melepaskan <i>Safety Desk</i> dan <i>Finishing</i>	R66	Tertimpa/Terjepit/Terbentur Material	53	3	63	4	12
		R67	Pekerja Terkena / Tergores	58	3	37	2	6
		R68	Pekerja Terjatuh dari Ketinggian	55	3	81	5	15

Dominasi risiko dengan tingkat risiko sedang menunjukkan pentingnya pengendalian preventif yang konsisten untuk mencegah eskalasi risiko. Sedangkan faktor-faktor risiko yang berada dalam kategori tinggi membutuhkan rencana aksi pengendalian yang terstruktur. Sebanyak 6 faktor risiko termasuk dalam kategori risiko tingkat tinggi pada pekerjaan instalasi segmental box girder Jembatan Musi V, yaitu terdiri dari *sling* terputus pada pekerjaan penempatan *form traveller* di lokasi assembly (R6); pekerja jatuh dari ketinggian (R7) dan pekerja terkena lontaran atau kejatuhan material (R8) pada pekerjaan instalasi *form traveller*; pekerja terkena strand yang putus pada saat pekerjaan stressing segmen box girder (R43); pekerja jatuh ke sungai pada saat proses *launching traveller* (R58); dan pekerja terjatuh dari ketinggian pada saat proses melepaskan *safety desk* dan *finishing* (R68).

Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko disusun berdasarkan hasil analisis dengan memprioritaskan risiko pada kategori tinggi. Pengendalian ini disusun mengacu pada hierarki pengendalian risiko sesuai standar K3 konstruksi. Pengendalian risiko pada pekerjaan instalasi segmental box girder Jembatan Musi V mengacu

pada hierarki pengendalian risiko yang meliputi eliminasi, substitusi, rekayasa teknik, pengendalian administratif, dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD).

Upaya pengendalian untuk risiko *sling* terputus pada pekerjaan penempatan *form traveller* di lokasi *assembly* (R6) dapat dieliminasi dengan cara menghilangkan kebutuhan terhadap penggunaan *sling*, misalnya menggunakan metode alternatif seperti penggunaan *launching system* untuk menempatkan *form traveller* atau menggunakan *hydraulic jack* yang menggunakan sistem pengangkut terintegrasi tanpa menggunakan *flexible sling*. Upaya substitusi risiko untuk faktor risiko R6 dapat dilakukan dengan mengganti *sling* dengan *sling* baru yang memiliki *safe working load* yang lebih tinggi. Rekayasa teknik untuk mengendalikan risiko ini dapat dilakukan dengan merancang posisi titik angkat beban merata pada *sling* dan menghindari eksentrisitas. Pengendalian administratif dilakukan melalui penerapan SOP, inspeksi rutin terhadap kondisi *sling* dan alat angkat, serta penugasan *rigger* yang bersertifikat. Penggunaan APD bagi operator dan *rigger* meliputi helm, sepatu, dan rompi keselamatan; serta *full body harness*.

Faktor risiko R7 (pekerja terjatuh dari ketinggian pada pekerjaan instalasi

form traveller) dapat dieliminasi dengan merakit *form traveller* dibawah (*ground level*) atau menggunakan *form traveller* dengan platform kerja tertutup (*full decking* serta dilengkapi pelindung seperti *cage*, *guardrail*, dan jaring pengaman). Pengendalian risiko melalui upaya substitusi dan rekayasa teknis dapat dilakukan dengan menggunakan sistem pengaman jatuh yang andal, seperti menggunakan *anchor point* permanen atau menggunakan *lifeline* sistem yang bergerak horizontal. Pengendalian administratif untuk R7 dapat dilakukan dengan menerapkan SOP dan izin kerja khusus di ketinggian, melaksanakan *tool box meeting*, dan pengawasan langsung di lokasi kerja. Penggunaan APD seperti *full body harness*, helm, dan sepatu keselamatan anti-slip dapat mendukung keselamatan pekerja.

Risiko pekerja terkena lontaran atau kejatuhan material (R8) pada pekerjaan instalasi *form traveller* dapat dieliminasi dengan cara menerapkan *exclusion zone* atau zona larangan dibawah zona instalasi *form traveller*. Pemilihan metode instalasi seperti perakitan *form traveller* di bawah serta penggunaan sistem *lifting* yang bersifat permanen dan otomatis juga dapat mengurangi potensi material terlontar atau terjatuh. Substitusi metode kerja seperti mengganti platform terbuka dengan *toe board* dapat mencegah material terlontar dan jatuh menimpa pekerja. Penggunaan *safety net* di bawah area kerja dapat menjadi upaya rekayasa teknis untuk menahan material dan paparan bagi pekerja. Upaya pengendalian secara administratif dapat dilakukan dengan menerapkan SOP, izin kerja, pengawasan lapangan, serta inspeksi dan *checklist* sebelum dan selama pekerjaan berlangsung. Paparan risiko bagi pekerja dapat diminimalkan dengan menggunakan APD seperti helm dan *face shield*.

Eliminasi risiko pekerja terkena *strand* yang putus pada saat pekerjaan *stressing* segmen box girder (R43) dapat

dilakukan dengan cara melakukan pengendalian mutu secara ketat terhadap kualitas *strand* yang digunakan untuk mencegah *strand* putus saat proses *stressing* serta memastikan pekerja tidak berada di zona arah tarikan *strand* pada saat proses *stressing* dilakukan. Upaya substitusi risiko dapat dilakukan dengan mengganti metode *stressing* manual dengan sistem *stressing* otomatis (*hydraulic jack* dengan sistem kontrol jarak jauh), sehingga pekerja tidak perlu berada di sekitar *strand* yang sedang di tarik. Rekayasa teknis seperti penggunaan *hydraulic jack* yang dilengkapi *safety lock* dan *pressure relief valve* dapat mencegah *strand* terlepas atau terputus. Pengendalian administratif untuk risiko ini dapat dilakukan melalui penerapan SOP, izin kerja, *safety briefing* serta inspeksi dan *checklist* sebelum pekerjaan *stressing* dilakukan. Pekerja yang akan melakukan proses *stressing* wajib mengenakan APD setidaknya terdiri dari helm keselamatan, *face shield* (pelindung wajah penuh), *wearpack* berbahan tebal, sarung tangan, dan *safety shoes*.

Risiko pekerja jatuh ke sungai pada saat proses *launching* traveller (R58) dapat dieliminasi dengan cara menggunakan area kerja dengan permukaan yang menyatu dengan struktur sehingga tidak ada celah terbuka. Substitusi metode *launching* konvensional menjadi metode *launching* hidrolik & otomatis dapat mengurangi risiko pekerja terjatuh ke sungai. Upaya rekayasa teknis seperti pemasangan *guardrail* dan *toe board* di seluruh tepi area kerja, penggunaan *safety net*, dan platform kerja *full decking* dapat membatasi risiko. Pengendalian risiko ini juga dapat dilakukan melalui pengendalian administratif, melalui penerapan SOP, izin kerja di ketinggian dan di atas air, serta melakukan *safety briefing* sebelum proses traveller dilaksanakan. Pekerja diwajibkan menggunakan APD berupa *full body harness*, *life jacket* dengan *reflector*,

sepatu *safety* anti slip, serta helm keselamatan.

Pekerja terjatuh dari ketinggian pada saat proses melepaskan *safety desk* dan *finishing* (R68) dapat dieliminasi dengan cara menggunakan alat mekanis yang memungkinkan sistem pengunci dibuka menggunakan sistem remote. Upaya substitusi metode kerja terbuka dengan *temporary working platform* tambahan sebelum *safety deck* dilepas dapat mengurangi risiko pekerja terjatuh. Upaya pengendalian risiko melalui rekayasa teknis dapat dilakukan dengan penggunaan *guardrail* di semua sisi terbuka, penggunaan *safety net*, serta penggunaan *full decking* sebagai *platform* kerja. Pengendalian administratif dapat dilakukan dalam bentuk penerapan SOP dan izin kerja, *safety briefing*, serta supervisi lapangan. Pengendalian risiko melalui penggunaan APD dapat dilakukan dengan mewajibkan pekerja menggunakan helm keselamatan, sepatu anti slip, dan sarung tangan dengan tipe grip yang kuat dan tidak licin.

KESIMPULAN

1. Penelitian ini menunjukkan bahwa pekerjaan instalasi segmental box girder pada jembatan dengan tipe beton prategang dan menggunakan sistem konstruksi *balance cantilever* sebagaimana pada Jembatan Musi V memiliki tingkat kompleksitas teknis yang tinggi. Hal ini berpotensi menimbulkan paparan bahaya keselamatan dan kesehatan kerja yang signifikan. Penggunaan metode HIRARC pada penelitian ini telah memberikan pendekatan yang terstruktur untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan menyusun rekomendasi pengendalian risiko secara sistematis.
2. Hasil identifikasi risiko menunjukkan sebanyak 68 faktor risiko tersebar dalam 16 aktivitas pada pekerjaan instalasi segmental box girder di

Jembatan Musi V. Analisis risiko menggunakan metode *probability-impact* dan *severity index* mengindikasikan sebanyak 6 (enam) faktor risiko menjadi risiko tingkat tinggi dan 62 faktor risiko lainnya masuk dalam kategori risiko dengan tingkat sedang. Hal ini mengkonfirmasi bahwa pekerjaan instalasi segmental box girder pada proyek konstruksi jembatan membutuhkan komitmen dari semua pihak untuk menerapkan Sistem Manajemen dan Kesehatan Kerja (SMK3) Konstruksi.

3. Upaya pengendalian risiko dilakukan secara sistematis terhadap berbagai faktor risiko yang termasuk dalam kategori tinggi. Strategi pengendalian risiko diusulkan berdasarkan hirarki pengendalian, yang meliputi eliminasi risiko, substitusi, rekayasa teknis, pengendalian administratif, serta penggunaan APD yang sesuai dengan pekerjaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abood, R.N dan Abdul-Razzaq, K.S. 2024. *A Review of Previous Studies on Reinforced Concrete Box Girders*. Prosiding International Conference on Engineering and Science. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0191612>
- Aikpohio, B.N., dkk. 2024. *Risk Management Practices and Performance of Construction Projects: Evidence from Selected Estate Management Companies in FCT Abuja*. European Journal of Logistics, Purchasing and Supply Chain Management. Vol 12(1). ISSN: 2054-0949.
- Alshehhi, H.S.M., dkk. 2024. *The Impact of Risk Management on the Performance of Construction Projects*. Educational Administration Theory and Practice

- Journal. Vol 30(5). DOI: 10.53555/kuey.v30i5.3708.
- Az-Zahra, K. dkk. 2024. *Risk Analysis of Steel Box Girder Installation Using HIRARC Method: (Case Study: Aloha Sidoarjo Flyover Construction Project)*. International Journal on Advanced Technology Engineering and Information System. Vol 3(1). DOI: 10.55047/ijateis.v3i1.985.
- Chang, Sung-Pil dan Choo, Jinkyoo F. 2009. *Values of Bridge in the Formation of Cities*. Prosiding IABSE Symposium Report 95(1). DOI: 10.2749/222137809796089142.
- Fahri, Mohammad dan Harun, Mohamad. 2025. Implementasi Manajemen Risiko Pekerjaan *Erection Girder* Pada Proyek Jembatan Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta-Solo Sta 36+907. De'Teksi: Jurnal Teknik Sipil. Vol 10(1). e-ISSN: 2502-3152
- Febrianto, M.A., dkk. 2022. Manajemen K3 Pekerjaan *Erection Girder* Menggunakan Metode HIRARC (Studi Kasus Tol Semarang – Demak Paket 2). Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur. ISSN: 2598-2257.
- Fitradi, Nurrazzaq Barro. 2025. Analisis Keselamatan Kerja pada Pekerjaan *Erection Girder* Menggunakan Launcher dengan Metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC)-Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Jogja – Bawen Paket 1 (Seksi 1). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia.
- Hartono, W., dkk. 2024. Analisis Manajemen Risiko Kecelakaan Kerja dengan Standar Kerja Australia/New Zealand (AS/NZ) 4360:2004 Pada Proyek Konstruksi Jembatan Beton. Matriks Teknik Sipil. Vol 11(4). <https://doi.org/10.20961/mateksi.v11i4.76561>
- Hassan, Munzer dan Sennah, Khaled. 2025. *Advances in Bridge Design and Construction: Technologies and Applications*. Applied Sciences 15(17). DOI: 10.3390/app15179791.
- Hermando, Joni. 2026. Analisa Risiko Keselamatan pada Pekerjaan *Lifting Girder* di PT. Mcdermott Indonesia Menggunakan Metode HIRARC. Journal Locus Penelitian dan Pengabdian. Vol 5(3). DOI: 10.58344/locus.v5i3.5712
- International Labour Organization. (2001). *Guidelines on occupational safety and health management systems (ILO-OSH 2001)*. Geneva: ILO.
- International Organization for Standardization. (2018). *ISO 31000: Risk management—Guidelines*. Geneva: ISO.
- Komalasari, C., dkk. 2024. *Construction Safety in Girder Installation Work on Cibitung – Cilincing Toll Road Construction Project*. Proceeding of International Conference on Multidisciplinary Research for Sustainable Innovation.
- Konstandakopoulou, F. 2024. Health and Safety Challenges in Bridge Construction: A Comprehensive Review of Workplace Accidents. Engineering World. <https://doi.org/10.37394/232025.2024.6.30>
- Kwak, Hyo-Gyoung dan Son, Je-Kuk. 2004. *Span Ratios in Bridges Constructed Using a Balanced Cantilever Method*. Construction and Building Materials. Vol 18(10). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.022>
- Lensun. T.G., dkk. 2022. Analisis Risiko Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L) dengan Metode HIRADC pada Proyek Pembangunan Jembatan dan Oprit Boulevard II. Tekno. Vol 20(82). <https://doi.org/10.35793/jts.v20i82>.

- 44351
- Lubis, Nina Diana. 2020. Identifikasi Potensi Kecelakaan Kerja dan Upaya Keselamatan Kerja pada Pelaksanaan Girder. Tesis. Universitas Islam Indonesia.
- Lucko, Gunnar dan de la Garza, J. 2003. *Constructability Considerations for Balanced Cantilever Construction*. Practice Periodical on Structural Design and Construction. Vol 8(1). DOI: 10.1061/(ASCE)1084-0680(2003)8:1(47)
- Mounata, Fatima Antara Islam, dkk. 2024. *Revolutionary Techniques in Bridge Engineering and Construction*. Prosiding International Conference on Recent Innovation in Civil Engineering and Architecture for Sustainable Development (IICASD-2024).
- Muka, I.W. 2024. Penerapan Manajemen Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Penggantian Jembatan Tukad Ayung Denpasar, Bali. Jurnal Syntax Admiration. Vol 5(3). <https://doi.org/10.46799/jsa.v5i3.1067>
- Novisa, Salsa. 2025. *Analysis of Occupational Health and Safety (OHS) Project Using CSA Methods in Jogja-Bawen Toll Road*. Thesis. Universitas Islam Indonesia.
- Nugroho, H.P dan Purwanto, E. (2024). Kesehatan Kerja Pada Proyek Pembangunan Jembatan Berdasarkan ISO 31000: 2018. Jurnal Sains Student Research. Vol 2(5). <https://doi.org/10.61722/jssr.v2i5.2632>
- Paril, Rubina. P dan Talikoti, R.S. 2014. *Seismic Analysis of Balanced Cantilever Bridge Considering Time Dependent Properties*. International Journal of Engineering Research & Technology. Vol 3(7).
- Pratama, Ahmad Z.W., dkk. 2025. *Hazard Analysis and Risk Control in Industrial Building Construction Work: A Review Article*. TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika. Vol 12(2). DOI: <https://doi.org/10.37373/teknolo.v12i2.1598>
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® Guide)* (7th ed.). Newtown Square, PA: PMI.
- Rachma, Intan Nuriskha dan Sarifah, Fitriana. 2025. Analisis Kapasitas Box girder Dengan Metode Sectional Approach. Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management 4(1). <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v4i1.6164>
- Rohman, M.A. 2022. Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan Erection Girder PCI Jembatan Tuntang, Proyek Tol Semarang-Demak Seksi 2 Menggunakan Metode Task Demand Assessment (TDA). Jurnal Teknik ITS. Vol 11(3). doi:10.12962/j23373539.v11i3.95317.
- Rosdiana, N., dkk. 2017. Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja pada Area Produksi Proyek Jembatan dengan Metode Job Safety Analysis (JSA). Jurnal Teknik Industri. Vol 5(1). <http://dx.doi.org/10.36055/jti.v0i0.1817>
- Sadewa, M.E.B. 2021. Implementasi Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Pekerjaan Pilar Jembatan Menggunakan Metode HIRADC. Tesis. Universitas Islam Indonesia.
- Salamah, N.A., dkk. 2022. Identifikasi Risiko K3L (Kesehatan, Keselamatan, Keamanan, dan Lingkungan Kerja) Pada Pembangunan Jembatan Menara Pandang Kota Baru Purwokerto. Jurnal TRINISTIK: Jurnal Teknik Industri, Bisnis Digital, Dan Teknik Logistik. Vol 1(1).

- <https://doi.org/10.20895/trinistik.v1i1.436>
- Saputra, P.D., dkk. 2023. *Identification of High Safety Risks in Box Girder Bridge Construction to Develop a Safety Plan for Elevated Railway Projects*. International Conference on Applied Sciences, Technology, Engineering and Mathematics. AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0179951>
- Schweigert, Karlee., dkk. 2018. *Accelerated Bridge Construction and its Recent Trend*. International Journal of Advance Research in Science and Engineering. Vol 7(8). <https://doi.org/10.5281/zenodo.6038070>
- Supriyatna, Herry., dkk. 2020. *Occupational Safety and Health Risk in Building Construction Projects: A Literature Review*. Operational Research in Engineering Sciences: Theory and Applications. Vol 3(1). <https://doi.org/10.31181/oresta200134s>.
- Szymański, Pawel. 2017. *Risk Management in Construction Projects*. Prosiding International Joint Conference on Innovative Solutions in Construction Engineering and Management. Procedia Engineering.
- Vega, Silvia. C., Gisbert, Carlos. M. dan Viviescas, A. 2026. *Nonlinear Seismic Response of Long-Span Bridges Constructed by the Balanced Cantilever Method Under Earthquake Excitations*. Applied Sciences. Vol 16(7). <https://doi.org/10.3390/app16073312>
- Wang, Qing'e, dkk. 2024. *Technological Innovation Cooperation in Mega Construction Projects: A Conceptual Framework*. Buildings 2024, 14(1), 189; <https://doi.org/10.3390/buildings14010189>
- Zheng, Jielian. 2024. *Recent Construction Technology Innovations and Practices for Large-Span Arch Bridges in China*. Engineering, Volume 41. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.05.019>
- Zhou, Xuhong dan Zhang, Xigang. 2019. *Thoughts on the Development of Bridge Technology in China*. Engineering, Volume 5, Issue 6. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2019.10.001>