

TUGAS AKHIR


ANALISIS RISIKO KECELAKAAN KERJA PADA TENAGA KERJA PADA PEKERJAAN *ERECTION* GIRDER DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)

(ANALYSIS OF WORKPLACE ACCIDENT RISK IN
WORKERS ON GIRDER *ERECTION* WORK USING THE
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) METHOD)

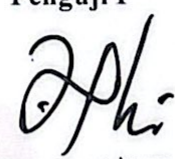
(Studi Kasus pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA
Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2)



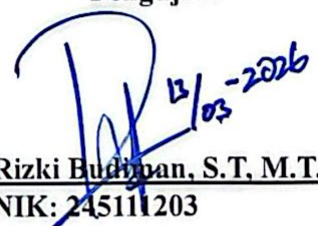
Pembimbing


Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D.
NIK: 215111305

Penguji I


Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM.
NIK: 005110101

Penguji II


Rizki Budiman, S.T., M.T.
NIK: 245111203

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini, Saya menyatakan bahwa sesungguhnya Laporan Tugas Akhir yang telah saya susun sebagai syarat penyelesaian program Sarjana Strata Satu (S1) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Jika dikemudian hari ditemukan bahwa seluruh atau sebagian Laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau terdapat plagiasi pada bagian-bagian tertentu, maka saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya dapat sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 12 Maret 2026

Yang membuat pernyataan,



Tandy Taris Marsyal
(21511062)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Tenaga Kerja pada Pekerjaan *Erection Girder* dengan Metode *Fault Tree Analysis (FTA)*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil.

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari berbagai kendala dan tantangan, baik secara teknis maupun nonteknis. Namun, berkat bimbingan, dukungan, dan bantuan dari berbagai pihak, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan laporan ini dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Adityawan Sigit, S.T., M.T., Ph.D., yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan arahan, masukan, serta bimbingan secara berkesinambungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.
3. Ibu Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IPM selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Rizki Budiman, S.T., M.T., selaku dosen penguji 2 yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Terima kasih telah memberikan saran, masukan, ilmu pengetahuan, serta arahan akademik selama masa studi.

6. Seluruh pihak yang telah membantu terlaksananya selama penelitian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih memiliki keterbatasan sehingga belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan pada penelitian selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat sebagai referensi akademik serta menambah wawasan dalam bidang teknik sipil, khususnya pada bidang konstruksi.

Yogyakarta, 12 Maret 2026

Penulis,



Tandy Taris Marsyal
(21511062)

HALAMAN DEDIKASI

Dengan penuh rasa syukur, Tugas Akhir ini saya dedikasikan kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, Bapak Subandi Aris dan Ibu Erani Arora yang selalu memberikan kasih sayang, doa, dukungan, serta pengorbanan yang tidak pernah berhenti dalam setiap langkah perjalanan hidup saya. Terima kasih sebesar-besarnya atas segala kesabaran, kepercayaan, dan semangat yang selalu diberikan sehingga saya dapat menyelesaikan perjalanan pendidikan ini.
2. Diri saya sendiri, yang telah berjuang, bertahan, dan tidak menyerah melewati berbagai proses, tantangan, serta rintangan selama menempuh pendidikan hingga akhirnya mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Teman-teman Darul Dingo, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, bantuan, serta berbagai kenangan yang tidak terlupakan selama perjalanan ini. Kehadiran kalian menjadi bagian penting yang memberikan semangat dalam proses yang saya jalani.
4. Teman-teman Amba, yang sudah seperti keluarga bagi saya. Terima kasih atas kebersamaan, dukungan, serta perhatian yang selalu diberikan sehingga setiap proses yang dijalani terasa lebih ringan dan penuh makna.
5. Nanda Febrian, yang selalu memberikan dukungan, pengertian, serta semangat di setiap keadaan sehingga saya mampu tetap melangkah dan menyelesaikan karya ini.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN DEDIKASI	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
ABSTRAK	xiii
<i>ABSTRACT</i>	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Lokasi Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Analisis Akar Penyebab Risiko K3 Pelaksanaan Pekerjaan Abutment dan Pemsangan Girder Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) Proyek Tol Solo – NYIA Kulon Progo	5
2.2.2 Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 (Seksi 1) Menggunakan Metode Bowtie	6

2.2.3	Analisis Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan <i>Erection Girder</i> dengan Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Overpass Tol Pasuruan-Probolinggo)	6
2.2.4	Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> Pada Proyek Tol Jakarta – Cikampek Jilid II <i>Elevated</i>	7
2.2.5	Analisis Efektivitas Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Proyek Konstruksi dengan Metode <i>Fine</i> dan <i>Fault Tree Analysis</i> Pada Pembangunan <i>Christian Center</i> Tahap II	7
BAB III LANDASAN TEORI		12
3.1	Proyek	12
3.2	Proyek Konstruksi	12
3.2.1	Pengertian Proyek Konstruksi	12
3.2.2	Jenis Proyek Konstruksi	13
3.3	Manajemen Proyek	13
3.4	Kecelakaan Kerja	14
3.5	Risiko	15
3.6	Pengendalian Risiko	16
3.7	Girder	17
3.7.1	Tipe-Tipe Girder	17
3.7.2	<i>Erection Girder</i>	20
3.8	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	20
3.8.1	Manfaat <i>Fault Tree Analysis</i>	21
3.8.2	Kelebihan <i>Fault Tree Analysis</i>	21
3.8.3	Kekurangan <i>Fault Tree Analysis</i>	22
3.8.4	Langkah-Langkah Mengerjakan <i>Fault Tree Analysis</i>	22
3.8.5	Simbol-Simbol <i>Fault Tree Analysis</i>	23
3.9	Metode <i>Design Thinking</i>	25

BAB IV METODE PENELITIAN	28
4.1 Metode Penelitian	28
4.2 Subjek dan Objek Penelitian	28
4.3 Teknik Pengumpulan Data	28
4.4 Metode Analisis Data	29
4.5 Diagram Alir Penelitian	30
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	33
5.1 Pelaksanaan Penelitian	33
5.2 Analisis Data	33
5.2.1 Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan <i>Erection Girder</i>	34
5.2.2 Menentukan <i>Top Event</i>	35
5.2.3 Menentukan Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan	35
5.2.4 Penggambaran <i>Fault Tree Analysis</i>	115
5.2.5 Kombinasi <i>Basic Event</i>	120
5.2.6 Validasi Data FTA (<i>Fault Tree Analysis</i>)	122
5.3 Pembahasan	126
5.4 Pengendalian Risiko	127
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	132
6.1 Kesimpulan	132
6.2 Saran	133
DAFTAR PUSTAKA	134

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2	4
Gambar 3. 1 Pendekatan Hirarki	16
Gambar 3. 2 I-Girder	18
Gambar 3. 3 U-Girder	19
Gambar 3. 4 Box-Girder	19
Gambar 3. 5 T-Girder	20
Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 5. 1 Rencana Permodelan Grafis Pekerja Terjatuh dari Ketinggian	
Error! Bookmark not defined.	
Gambar 5. 2 Grafik Fault Tree Analysis (FTA) Pekerja Terjatuh dari Ketinggian	118

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian yang akan dilaksanakan	9
Tabel 3. 1 Operasi Hukum Aljabar Boolean	23
Tabel 3. 2 Simbol-simbol Gerbang	24
Tabel 3. 3 Simbol-simbol Kejadian	24
Tabel 5. 1 Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Erection Girder	34
Tabel 5. 2 Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja	36
Tabel 5. 3 Simbol Fault Tree Analysis	116
Tabel 5. 4 Deskripsi Notasi Huruf dan Angka Pekerja Terjatuh dari Ketinggian	119
Tabel 5. 5 Deskripsi Notasi Huruf dan Angka Pekerja Tertimpa Girder	120
Tabel 5. 6 Cut Set Menggunakan Aljabar Boolean	121
Tabel 5. 7 Hasil Analisis Kombinasi Kegagalan dan Pengendalian Risiko	122

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Sertifikasi Ahli K3	71
Lampiran 2 Grafik <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	73
Lampiran 3 Dokumentasi	74

ABSTRAK

Proyek pembangunan infrastruktur jalan tol memiliki risiko kecelakaan kerja yang tinggi, terutama pada tahap *erection girder*. Pekerjaan ini pada Proyek Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2 dilakukan pada malam hari, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan bagi pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi akar penyebab risiko kecelakaan kerja pada tenaga kerja pada proses *erection girder* menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) serta merumuskan strategi pengendalian risiko yang tepat.

Penelitian ini merupakan studi kasus dengan pendekatan deskriptif kualitatif. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan data primer melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara dengan pihak HSE proyek. Data yang diperoleh kemudian diolah menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk memetakan hubungan logis antara kejadian puncak (*top event*) dengan berbagai faktor penyebab atau *basic events* pada aktivitas *erection girder*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko utama dalam pekerjaan *erection girder* adalah pekerja terjatuh dari ketinggian. Akar permasalahan didominasi oleh faktor manusia seperti kelelahan dan kurangnya pengalaman, faktor lingkungan berupa pencahayaan yang minim, serta faktor teknis terkait kelayakan alat. Strategi pengendalian yang direkomendasikan sesuai hierarki pengendalian meliputi optimalisasi sistem pencahayaan area kerja, inspeksi rutin kelayakan alat berat, serta pengetatan kedisiplinan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) berupa *full body harness* dan *lifeline*.

Kata kunci: *Erection Girder*, *Fault Tree Analysis*, Risiko Kecelakaan Kerja, Jalan Tol..

ABSTRACT

Toll road infrastructure development projects carry a high risk of workplace accidents, particularly during the girder erection phase. This activity at the Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo Toll Road Project Section 2 Package 2.2 is conducted at night, thereby increasing the potential for accidents. This research aims to identify the root causes of workplace accident risks in workers on the girder erection process using the Fault Tree Analysis (FTA) method and to formulate appropriate risk control strategies.

This research is a case study using a qualitative descriptive approach. The research stages began with primary data collection through direct field observations and interviews with the project's HSE personnel. The collected data were then processed using the Fault Tree Analysis (FTA) method to map the logical relationships between the top event and various causal factors or basic events in girder erection activities.

The research results indicate that the primary risk in girder erection work is workers falling from heights. The root causes are dominated by human factors such as fatigue and lack of experience, environmental factors such as minimal lighting, and technical factors related to equipment feasibility. Recommended control strategies according to the hierarchy of control include optimizing work area lighting systems, routine inspections of heavy equipment feasibility, and tightening the discipline of using Personal Protective Equipment (PPE) in the form of full body harnesses and lifelines.

Keyword: *Girder Erection, Fault Tree Analysis, Accident Risk, Toll Road*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam industri konstruksi, Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) sangat penting untuk melindungi karyawan dari bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja dan penyakit. Lebih dari 2 juta pekerja meninggal setiap tahun karena kecelakaan kerja dan penyakit terkait pekerjaan, menurut data dari *International Labour Organization (ILO)* Tahun 2022. Sektor konstruksi merupakan penyumbang terbesar dalam hal angka kecelakaan kerja. Hal ini terbukti dengan peningkatan kasus kecelakaan kerja dari 101.368 pada tahun 2016 menjadi 123.041 pada tahun 2017, terus meningkat hingga 120.923 kasus pada tahun 2019 dan menjadikan sektor konstruksi menempati urutan tertinggi kecelakaan kerja yaitu 30% (Friyandary dkk., 2020).

Proyek pembangunan jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo adalah salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) (Peraturan Presiden No. 109 Tahun 2020). Jalan tol dapat meningkatkan mobilitas dan perekonomian sebuah daerah (Ramadhan Syahriadi dan Tenriajeng, 2020). Proyek pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo ini melibatkan banyak alat berat dan sumber daya manusia untuk mencapai hasil terbaik (Pramesti dan Rachmawati, 2023). Banyaknya sumber daya pekerja menjadikan proyek pembangunan jalan tol berpotensi memiliki risiko kecelakaan yang tinggi, terutama pekerjaan *erection girder*. Proses ini melibatkan banyak langkah teknis, kerja di ketinggian dan penggunaan alat berat di area terbatas yang memungkinkan terjadinya kecelakaan kerja seperti jatuhnya material, alat berat terguling atau kurangnya koordinasi antar pekerja.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mendalam diperlukan untuk menilai risiko pekerjaan penting di proyek konstruksi. Sehingga metode *Fault Tree Analysis (FTA)* cocok digunakan untuk memetakan potensi kegagalan serta mengidentifikasi faktor penyebabnya yang meliputi faktor manusia, peralatan, metode, dan

lingkungan. Pada pekerjaan *erection girder*, beberapa jenis kecelakaan kerja yang berpotensi terjadi antara lain girder rubuh saat proses pengangkatan atau pemasangan, kegagalan sistem pengangkatan pada crane, girder yang bergeser atau tidak stabil saat proses penempatan, serta pekerja yang terjatuh dari ketinggian ketika melakukan penyelarasan girder pada tumpuan struktur. Apabila kecelakaan tersebut terjadi, maka dapat menimbulkan berbagai konsekuensi serius bagi tenaga kerja, seperti pekerja tertimpa girder, tertabrak material atau peralatan, maupun mengalami cedera akibat terjatuh dari ketinggian. Oleh karena itu, risiko kecelakaan pada pekerjaan *erection girder* memiliki tingkat bahaya yang tinggi terutama terhadap keselamatan tenaga kerja di area proyek.

Penelitian sebelumnya oleh Taufiq (2023) telah memberikan kontribusi penting dalam menganalisis kecelakaan kerja menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), namun penelitian tersebut dilakukan berdasarkan kejadian kecelakaan yang telah terjadi serta terbatas pada satu proyek tertentu. Kondisi tersebut menyebabkan hasil penelitian sangat dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan dan medan lokasi setempat, sehingga tingkat generalisasi dan penerapannya pada proyek lain dengan kondisi berbeda masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang dilakukan pada lokasi dan kondisi proyek yang berbeda guna memperkaya pemahaman terhadap pola risiko kecelakaan kerja di sektor konstruksi. Dalam konteks ini, proyek pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2 dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik pekerjaan berisiko tinggi, khususnya pada pekerjaan *erection girder* yang dilaksanakan di lingkungan jalan aktif dan pada waktu kerja malam hari.

Penelitian ini menerapkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) secara preventif untuk mengidentifikasi potensi kegagalan dan akar penyebab risiko kecelakaan kerja. Mengingat bahwa berbagai potensi kecelakaan pada pekerjaan *erection girder* pada akhirnya berdampak langsung terhadap keselamatan tenaga kerja, maka fokus penelitian diarahkan secara spesifik pada risiko kecelakaan yang dialami pekerja, bukan pada kegagalan struktur secara teknis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mendukung upaya pencegahan kecelakaan kerja secara lebih

efektif melalui identifikasi faktor penyebab kecelakaan yang berpotensi menimbulkan cedera pada tenaga kerja.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang, maka peneliti akan merumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

1. Apa saja risiko dan peristiwa kegagalan yang mungkin terjadi pada tenaga kerja dalam pekerjaan *erection girder* di proyek pembangunan jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo?
2. Apa saja kemungkinan penyebab terjadinya kecelakaan kerja pada tenaga kerja pada pekerjaan *erection girder* di proyek pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, adapun tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui potensi risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*.
2. Mengetahui akar permasalahan yang dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan Tujuan Penelitian di atas, manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui penyebab utama kecelakaan yang mungkin terjadi pada pekerjaan *Erection Girder*.
2. Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk membuat prosedur pencegahan kecelakaan yang lebih baik dan efektif.
3. Sebagai referensi pada penelitian selanjutnya.

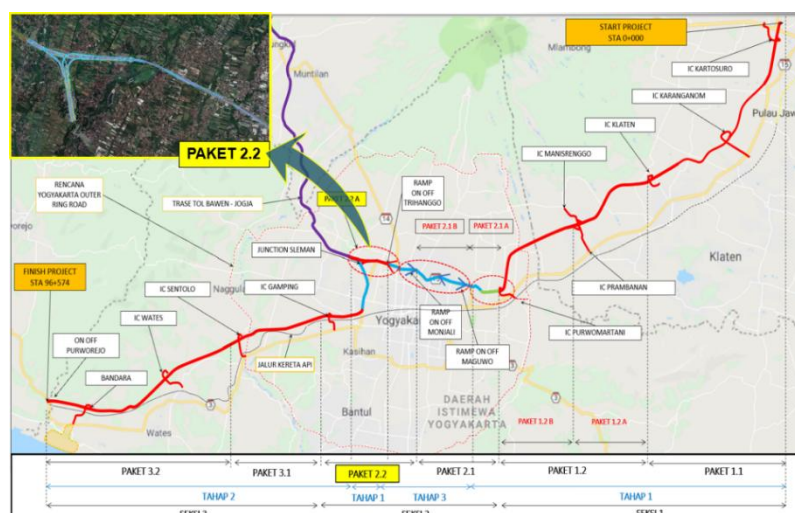
1.5 Batasan Penelitian

Adapun Batasan yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Jalan Tol – Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2
2. Penelitian hanya dilakukan pada pekerjaan *Erection Girder*.
3. Penelitian hanya berfokus pada risiko kecelakaan pada tenaga kerja.
4. Menggunakan analisis metode *Fault Tree Analysis*.
5. Data penelitian diperoleh dari wawancara dan tinjauan langsung ke lokasi.
6. Data kecelakaan yang digunakan bersifat potensi dan skenario kegagalan.
7. Penelitian ini hanya berfokus pada aspek keselamatan kerja, tidak mencakup kesehatan kerja, dan lingkungan.
8. Pengendalian risiko disajikan sebagai rekomendasi bukan sebagai hasil penelitian.

1.6 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2, Trihanggo – Junction Sleman. Lokasi proyek dapat dilihat pada Gambar 1.1 sebagai berikut.



Gambar 1. 1 Lokasi Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2

(Sumber : Adhi Karya, 2024)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tinjauan pustaka merupakan proses untuk mengidentifikasi, menilai, dan menyusun rangkuman dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan topik yang sedang dikaji.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yang memiliki kesamaan dengan penelitian yang sedang dilakukan. Adapun penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini sebagai berikut.

2.2.1 Analisis Akar Penyebab Risiko K3 Pelaksanaan Pekerjaan Abutment dan Pemasangan Girder Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) Proyek Tol Solo – NYIA Kulon Progo

Penelitian ini dilakukan oleh Ratnaningsih dkk., (2024). Penelitian ini menjelaskan akar penyebab risiko k3 pada pekerjaan Abutment dan pemasangan Girder pada proyek Tol Solo – NYIA Kulon Progo. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk melakukan analisis ini, untuk menemukan dan menganalisis faktor risiko kecelakaan kerja yang dominan pada pekerjaan abutment dan pemasangan girder. Meningkatnya jumlah kecelakaan kerja di bidang konstruksi, khususnya pada proyek jalan tol, mendorong penelitian ini untuk mengevaluasi penerapan K3 dan menemukan faktor risiko yang ada. Hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko utama untuk pekerjaan abutment adalah jalanan berdebu, tertusuk besi beton, dan jatuh dari ketinggian. Sementara itu, risiko pemasangan girder adalah girder terguling atau jatuh, membuat mata sakit, dan trailer terperosok. Faktor manusia, manajemen, teknis, dan lingkungan adalah sumber risiko tersebut. Penelitian ini memiliki kekurangan pada studi tentang akar

penyebab risiko K3 yang kurang mendalam secara komprehensif menggunakan metode FTA, dan menekankan pentingnya menyatukan faktor manusia, manajemen, teknis, dan lingkungan secara bersamaan dalam analisis risiko, serta mengoptimalkan langkah mitigasi yang berbasis hasil analisis metode tersebut.

2.2.2 Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 (Seksi 1) Menggunakan Metode Bowtie

Penelitian ini dilakukan oleh Pramesti dan Rachmawati, (2023) yang bertujuan untuk menganalisis risiko kecelakaan kerja pada proyek pembangunan jalan Tol Yogyakarta - Bawen Paket 1 (seksi 1) khususnya pekerjaan *Erection Girder* pada STA 68+650 – STA 68+655. Penelitian dilakukan dengan wawancara dan kuesioner pendahuluan untuk menemukan dan menilai tingkat risiko menggunakan indeks *severity* dan *likelihood*. Hasil penilaian menunjukkan tiga risiko besar: balok girder terguling, sling crane pecah saat pengangkatan, dan girder runtuh. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa risiko dapat dikurangi dari kategori ekstrem menjadi kategori sedang dengan menerapkan kontrol yang tepat, yang mencakup penggunaan APD, inspeksi alat, dan pengendalian administratif sesuai dengan standar K3 yang didasarkan pada SNI ISO 45001:2018. Meskipun penelitian ini telah melakukan analisis dan identifikasi risiko untuk risiko ekstrem, masih terdapat kekurangan pada aspek integrasi data jangka panjang, penilaian efektivitas pengendalian selama pelaksanaan di lapangan, serta pengembangan sistem prediksi yang dapat digunakan secara luas pada proyek sejenis.;+00

2.2.3 Analisis Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan *Erection Girder* dengan Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Overpass Tol Pasuruan-Probolinggo)

Penelitian ini dilakukan oleh Taufiq, (2023). Penelitian ini bertujuan untuk menemukan dan menganalisis sumber kecelakaan kerja yang terjadi selama pembuatan girder, yang menyebabkan struktur runtuh, kerusakan material, dan korban jiwa. Dalam proses ini, peneliti merinci urutan kejadian, membuat pohon kesalahan grafis, dan menghitung set cut minimal menggunakan aljabar Boolean. Hasil penelitian menunjukkan bahwa beberapa penyebab utama kecelakaan adalah

kurangnya keterampilan dan pengetahuan pekerja, latar belakang pendidikan yang buruk, kurangnya pengawasan dan kedisiplinan, dan kurangnya pelatihan atau penyuluhan K3 yang memadai bagi pekerja proyek. Berdasarkan temuan ini, peneliti memberikan rekomendasi pengendalian risiko yang disusun oleh pakar K3 untuk mencegah kecelakaan terulang. Penelitian ini sangat membantu dalam mengembangkan metode yang lebih baik untuk keselamatan kerja, khususnya untuk pekerjaan yang memerlukan pemasangan girder.

2.2.4 Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* Pada Proyek Tol Jakarta – Cikampek Jilid II *Elevated*

Penelitian ini dilakukan oleh Juliano, (2020). Fokus dari penelitian ini adalah mengidentifikasi dan menganalisis risiko kecelakaan kerja, serta menelusuri faktor utama penyebab kecelakaan menggunakan metode FTA. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa ada 54 variabel risiko kecelakaan kerja, dengan tiga di antaranya termasuk dalam kategori risiko tinggi, yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian, material jatuh saat pembesian, dan material jatuh pada pekerjaan pierhead. Berdasarkan hasilnya, peneliti merekomendasikan pelatihan, peningkatan kualitas APD, pengecekan alat dan penambahan aturan keselamatan kerja di lingkungan proyek.

2.2.5 Analisis Efektivitas Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Proyek Konstruksi dengan Metode *Fine* dan *Fault Tree Analysis* Pada Pembangunan *Christian Center* Tahap II

Penelitian ini dilakukan oleh Rosita dkk., (2023). Penelitian ini berfokus pada pekerjaan bekisting, pekerjaan pembesian, dan pekerjaan pengecoran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis tingkat risiko yang ada pada proyek serta pengendalian risiko kecelakaan kerja yang dapat dilakukan untuk meminimalisir risiko tersebut. Berdasarkan analisis FTA, ditemukan penyebab dasar yang mengakibatkan kecelakaan kerja yaitu faktor manusia, meliputi kurangnya kepedulian, kurangnya pengetahuan tentang k3, tidak menggunakan APD, dan tidak berkonsentrasi saat bekerja. Oleh karena itu, penelitian ini menyarankan beberapa Langkah pencegahan, seperti safety talk secara teratur, dan memeberikan

penyuluhan, memastikan penggunaan APD yang tepat, dan meningkatkan pengawasan petugas K3 di lapangan.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian yang akan dilaksanakan

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
(Ratnaningsih dkk., 2024)	Analisis Akar Penyebab Risiko K3 Pelaksanaan Pekerjaan Abutment dan Pemsangan Girder Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) Proyek Tol Solo – NYIA Kulon Progo	Mengidentifikasi dan menganalisis risiko K3 pada pekerjaan abutment dan pemasangan girder, serta menemukan akar penyebabnya menggunakan Fault Tree Analysis untuk merancang tindakan mitigasi yang tepat.	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Pada pekerjaan Abutment menimbulkan resiko tertinggi meliputi jalanan berdebu, tertusuk besi beton, dan jatuh dari ketinggian. Di sisi lain pada pekerjaan pemasangan girder menimbulkan resiko tertinggi adalah PCL girder terguling, iritasi mata, dan trailer terperosok
(Pramesti dan Rachmawati, 2023)	Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta – Bawen Paket 1 (Seksi 1) Menggunakan Metode Bowtie	Menganalisis penyebab, dampak, serta respons risiko yang tepat, baik dalam bentuk tindakan pencegahan maupun mitigasi, terhadap kecelakaan kerja yang terjadi di proyek tersebut.	Bowtie	Menunjukkan adanya risiko kecelakaan kerja yang tinggi, terutama pada pekerjaan erection girder. yaitu: segmen balok girder terguling saat mobilisasi dengan truk trailer, sling crane terputus saat pengangkatan girder ke atas pier, dan girder runtuh saat erection.
(Taufiq, 2023)	Analisis Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan <i>Erection Girder</i> dengan Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Overpass Tol Pasuruan- Probolinggo)	Menganalisis faktor utama penyebab terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan erection girder di proyek konstruksi Overpass Tol Pasuruan - Probolinggo yang ambruk pada saat proses erection berlangsung.	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Menunjukkan bahwa penyebab terjadinya kecelakaan ambruknya Girder yaitu disebabkan oleh Faktor Manusia Meliputi: kurangnya keterampilan dan pengetahuan akibat pendidikan rendah, minimnya pengawasan dan disiplin kerja, serta ketiadaan pelatihan K3

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Terhadap Penelitian yang akan dilaksanakan

Peneliti	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
(Juliano, 2020)	Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> Pada Proyek Tol Jakarta – Cikampek Jilid II Elevated	Identifikasi risiko kecelakaan dengan dampak terbesar, menyelidiki kemungkinan penyebab utamanya, dan merumuskan tindakan respons atau mitigasi yang paling efektif untuk menangani risiko tersebut.	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Ada 54 variabel risiko kecelakaan kerja, dengan tiga di antaranya termasuk dalam kategori risiko tinggi, yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian, material jatuh saat pembesian, dan material jatuh pada pekerjaan pierhead
(Rosita dkk., 2023)	Efektivitas Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan Proyek Konstruksi dengan Metode <i>Fine dan Fault Tree Analysis</i> Pada Pembangunan <i>Christian Center</i> Tahap II	Mengetahui risiko kecelakaan kerja dominan pada proyek dan merumuskan tindakan pengendalian yang efektif berdasarkan analisis FTA untuk mengurangi risiko kecelakaan	<i>Fine dan Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Menunjukkan risiko kecelakaan kerja tergolong rendah (skor < 20). Analisis FTA mengidentifikasi penyebab utama terjadinya kecelakaan kerja adalah faktor manusia, yaitu kurang kepedulian, kurang pengetahuan K3, tidak memakai APD, dan kurang konsentrasi. Rekomendasi pengendalian meliputi penyuluhan rutin, safety talk, penggunaan APD
Tandy, 2025	Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Tenaga Kerja pada Pekerjaan <i>Erection Girder</i> Dengan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Untuk menganalisis risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan <i>erection girder</i> , mulai dari mengidentifikasi potensi risiko kecelakaan dan akar penyebabnya	<i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Menunjukkan bahwa risiko utama pada pekerjaan <i>erection girder</i> adalah jatuh dari ketinggian, melalui metode FTA, kecelakaan tersebut dipengaruhi oleh faktor pekerja, lingkungan, teknis, dan manajemen K3.

Berdasarkan perbandingan jurnal-jurnal yang tercantum pada Tabel 2.1 di atas, terlihat bahwa penelitian terdahulu menggunakan metode yang sama yaitu metode *Fault Tree Analysis*, namun objek yang diteliti berbeda. Selain itu, terdapat juga penelitian terdahulu yang menggunakan metode yang sama yaitu *Fault Tree Analysis* dan objek yang sama, namun lokasi penelitian berbeda dengan penelitian yang sedang dilaksanakan ini.

Penelitian sebelumnya oleh Taufiq, (2023) dilakukan berdasarkan kejadian masa lalu, serta terbatas pada satu proyek tertentu, sehingga hasilnya belum bisa diterapkan secara luas karena kondisi lingkungan dan medan lokasi yang pasti berbeda. Hal ini menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan penelitian di lokasi yang baru, dalam hal ini yaitu proyek pembangunan jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2..

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Proyek

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), proyek merupakan rencana pekerjaan dengan sasaran khusus dan dengan waktu penyelesaian yang tegas. Dengan kata lain, proyek merupakan usaha jangka pendek yang dimaksudkan untuk menghasilkan suatu barang, layanan, atau hasil tertentu dalam jangka waktu tertentu. Proyek didefinisikan sebagai suatu rangkaian kegiatan yang sifatnya sementara dan berlangsung dalam jangka waktu terbatas yang bertujuan untuk menyelesaikan bangunan atau infrastruktur untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan Ismael, (2013).

Berdasarkan Agung, (2024), tugas atau aktivitas yang dilakukan dalam sebuah proyek dapat meliputi pembangunan maupun perbaikan infrastruktur seperti jalan, gedung, jembatan, dan bendungan, serta dapat pula berupa kegiatan lain di luar bidang konstruksi, misalnya pengembangan, penelitian, ataupun aktivitas di bidang seni.

3.2 Proyek Konstruksi

3.2.1 Pengertian Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan rangkaian aktivitas yang membangun atau memperbaiki bangunan fisik seperti gedung, jembatan, jalan, dan infrastruktur lainnya. Menurut Ervianto, (2005), proyek konstruksi adalah rangkaian kegiatan yang dilakukan sekali dengan jangka waktu tertentu, yang biasanya pendek dan dipengaruhi oleh lingkup, tingkat kesulitan, serta faktor lainnya. Selain itu, proyek konstruksi dibatasi oleh tiga hambatan utama: anggaran, jadwal, dan mutu, sehingga untuk memastikan bahwa proyek dapat diselesaikan dengan tepat waktu, pengelolaan yang efektif sangat penting Rani, (2016).

3.2.2 Jenis Proyek Konstruksi

Menurut Rani, (2016) proyek konstruksi terbagi menjadi dua kategori utama, yakni bangunan gedung dan bangunan sipil, yang mana dijelaskan sebagai berikut

- a. Bangunan gedung yang biasanya digunakan sebagai tempat tinggal atau tempat kerja. Mencakup pembangunan fasilitas seperti perumahan, hotel, gedung perkantoran, dan bangunan sejenisnya.
- b. Bangunan sipil yang mana dalam kebanyakan kasus, proyek ini dilakukan di wilayah yang luas dan panjang dan fokus pada pelayanan publik daripada keuntungan. Proyek ini meliputi infrastruktur seperti jalan, jembatan, bandara, terowongan, irigasi, dan bendungan.

3.3 Manajemen Proyek

Menurut Ervianto, (2005) manajemen proyek merupakan proses yang mencakup perencanaan, pelaksanaan, pengendalian, dan pengorganisasian mulai dari awal sampai selesai untuk memastikan bahwa proyek selesai tepat waktu, biaya yang sesuai, dan dengan kualitas yang diinginkan. Manajemen proyek berkembang sebagai respon terhadap kebutuhan untuk menemukan pendekatan pengelolaan yang sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik proyek Rani, (2016). Dengan kata lain, manajemen proyek muncul karena tuntutan untuk mengelola kegiatan yang sementara. Akibatnya, pendekatan manajemen yang biasa digunakan dalam operasi sehari-hari tidak lagi cukup.

Tujuan dari manajemen proyek yaitu menentukan suatu cara yang efektif dan efisien untuk mencapai tujuan yang ditetapkan dan melakukan evaluasi kinerja dan mengkaji ulang sesuai dengan situasi untuk melakukan penyesuaian strategi jika perlu Arifin, (2021). Manajemen proyek memiliki beberapa fungsi untuk mencapai tujuan tersebut. Menurut Henry Fayol fungsi manajemen proyek sebagai berikut:

- a. Perencanaan (*Planning*), merupakan proses menetapkan tujuan organisasi dan strategi yang dibutuhkan untuk mencapainya, dengan focus pada masa depan yang tidak pasti. Perencanaan mencakup Langkah awal dan Upaya untuk

mengantisipasi apa yang akan terjadi di masa depan agar organisasi dapat mencapai tujuan tersebut.

- b. Pengorganisasian (*Organizing*), merupakan proses pembagian tugas dan membentuk struktur organisasi agar sumber daya, terutama manusia, dapat bekerja secara optimal sesuai peran dan fungsinya.
- c. Pengarahan (*Directing*), merupakan upaya mengarahkan anggota kelompok agar bekerja sesuai rencana, sehingga pekerjaan dapat dilakukan secara efektif dan efisien
- d. Pengawasan (*Cotrolling*), merupakan Tindakan mengevaluasi kegiatan yang telah dilakukan untuk memastikan kualitas layanan atau produk telah sesuai.

3.4 Kecelakaan Kerja

Kecelakaan kerja merupakan kejadian tidak terduga yang terjadi di tempat kerja yang menyebabkan cedera, kerusakan properti, bahkan dapat menyebabkan kematian, atau kerugian waktu kerja. Menurut Ervianto, (2005), kecelakaan kerja adalah kecelakaan atau penyakit yang mempengaruhi orang yang bekerja di tempat kerja dan berhubungan dengan pekerjaan yang mereka lakukan di sana. Kecelakaan kerja pada proyek konstruksi akan merugikan tenaga kerja dan lingkungan kerja yang tidak aman, hingga bisa menyebabkan keterlambatan proyek konstruksi.

Ada beberapa sumber penyebab terjadinya kecelakaan kerja, yaitu: *Person* (sumber daya manusia, kondisi psikis individu), *Equipment* (kondisi peralatan dan mesin), *Materials* (kondisi bahan, sifat bahan, berat bahan, kerentanan bahan terhadap kondisi lingkungan), *Method* (proses produksi, SOP, proses handling suatu barang), dan *Environment* (kondisi tempat kerja, kondisi sosial di tempat kerja). Perusahaan harus mengambil tanggung jawab untuk mngantisipasi kecelakaan kerja, yang mana sudah dijelaskan oleh Undang-Undang Nomor 1 Tahun 1970 tentang keselamatan kerja, yang mengatur kewajiban pengusaha untuk menyelenggarakan keselamatan kerja dan melakukan pembinaan bagi tenaga kerja guna mencegah kecelakaan kerja.

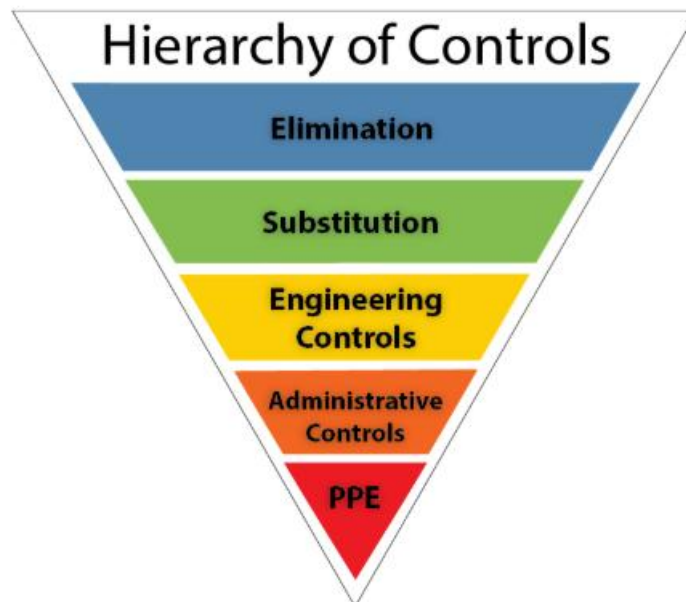
3.5 Risiko

Menurut Australian Standard/New Zealand Standard atau AS/NS (2004), risiko merupakan kemungkinan atau peluang terjadinya sesuatu yang dapat mempengaruhi suatu sasaran, risiko diukur dengan mempertimbangkan kemungkinan terjadinya suatu kasus dan akibat dari kasus tersebut. Risiko adalah variasi dari kejadian-kejadian yang dapat terjadi secara alami atau peristiwa yang tak terduga yang membahayakan properti dan keuntungan finansial Matsura Labombang, (2011). Secara umum, risiko dapat diklasifikasikan berdasarkan berbagai perspektif yang disesuaikan dengan kebutuhan dalam proses penanganannya Rahayu, (2001):

1. Risiko murni dan risiko spekulatif (*Pure risk and speculative risk*). Dimana risiko murni dianggap sebagai suatu ketidakpastian yang dikaitkan dengan adanya suatu luaran (*outcome*) yaitu kerugian. Contoh risiko murni kecelakaan kerja di proyek. karena itu risiko murni dikenal dengan nama risiko statis. Risiko spekulatif mengandung dua keluaran yaitu kerugian (*loss*) dan keuntungan (*gain*). Risiko spekulatif dikenal sebagai risiko dinamis. Contoh risiko spekulatif pada perusahaan asuransi jika risiko yang dijamin terjadi maka pihak asuransi akan mengalami kerugian karena harus menanggung pertanggung jawaban sebesar uang nilai kerugian yang terjadi tetapi bila risiko yang dijamin tidak terjadi maka perusahaan akan keuntungan.
2. Risiko terhadap benda dan manusia Dimana risiko terhadap benda seperti rumah terbakar sedangkan risiko terhadap manusia adalah risiko yang menimpa manusia seperti risiko hari tua, kematian dsb.
3. Risiko fundamental dan risiko khusus (*fundamental risk and particular risk*) Risiko fundamental adalah risiko yang kemungkinannya dapat timbul pada hampir sebagian besar anggota masyarakat dan tidak dapat disalahkan pada seseorang atau beberapa orang sebagai penyebabnya, contoh fundamental: bencana risiko alam, peperangan. Risiko khusus adalah risiko yang bersumber dari peristiwa peristiwa yang mandiri dimana sifat dari risiko ini adalah tidak selalu bersifat bencana, bisa dikendalikan atau umumnya dapat diasuransikan.

3.6 Pengendalian Risiko

Pengendalian risiko merupakan pendekatan untuk menangani potensi bahaya di lingkungan kerja. Dalam proses ini, serangkaian Tindakan sistematis dilakukan untuk mengurangi risiko (probabilitas) dan konsekuensi dari risiko tersebut. Tujuannya adalah untuk menjaga Tingkat risiko pada Tingkat yang dapat diterima atau ditoleransi oleh organisasi atau individu. Pengendalian risiko dapat dilakukan dengan mengikuti pendekatan hierarki pengendalian risiko, yaitu serangkaian tingkatan pencegahan dan pengendalian risiko yang disusun secara berurutan Taufiq, (2023). Hierarki pengendalian risiko dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. 1 Pendekatan Hirarki

(Sumber: NIOSH 2015)

Menurut NIOSH, (2015), penjelasan dalam hierarki pengendalian risiko sebagai berikut:

1. Eliminasi (*Elimination*)

Ini adalah Tingkat hierarki yang paling efektif. Eliminasi adalah proses menghilangkan bahaya dari lingkungan kerja. Dengan menghilangkan sumber bahaya, risiko yang terkait dengannya secara otomatis hilang sepenuhnya. Metode ini harus menjadi pilihan pertama.

2. Substitusi (*Substitution*)

Jika eliminasi tidak dapat dilakukan, Langkah berikutnya adalah substitusi. Substitusi berarti mengganti sumber bahaya dengan sumber bahaya dengan Tingkat yang lebih rendah

3. Rekayasa Teknik (*Engineering Controls*)

Tingkat ini berfokus pada menjaga pekerja dari sumber bahaya tanpa bergantung pada bagaimana mereka berperilaku. Pengendalian rekayasa Teknik bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan efek yang disebabkan oleh desain fasilitas, peralatan, atau proses kerja.

4. Pengendalian Administratif (*Administrative Controls*)

Pengendalian ini mengubah cara orang bekerja untuk mengurangi paparan terhadap bahaya. Metode ini sangat bergantung pada perilaku dan kepatuhan pekerja.

5. Alat Pelindung Diri (*Personal Protective Equipment*)

Ini adalah Tingkat terakhir dan dianggap sebagai garis pertahanan yang paling tidak efektif dan paling akhir. APD tidak menghilangkan atau mengurangi bahaya, tetapi hanya menciptakan penghalang antara pekerja dan bahaya. Kelemahannya adalah efektivitasnya sangat bergantung pada pemilihan, pemakaian, dan perawatan yang benar oleh pekerja.

3.7 Girder

Girder merupakan salah satu komponen yang sering digunakan dalam konstruksi jembatan. *Girder* merupakan balok yang terbuat dari beton atau baja yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari lantai jembatan ke penyangga atau pilar. Karena beratnya yang lebih ringan dan kemudahan pemasangannya, *girder* atau jembatan prategang ini semakin banyak digunakan Nurhidayatullah & Kurniyawan, (2023). *Girder* memiliki beberapa tipe yang kerap digunakan, yaitu I *girder*, U *girder*, box *girder*, dan T *girder*.

3.7.1 Tipe-Tipe Girder

Adapun beberapa tipe girder yang umum dipakai di Indonesia adalah sebagai berikut.

1. *I-Girder*

I Girder adalah tipe *girder* yang paling umum dipakai. Karena desainnya yang ramping, *I Girder* ini memiliki kelebihan pada daya tahan dan juga ekonomis. Proses pemasangan *I Girder* juga mudah, sehingga sering dipilih untuk jembatan bentang menengah hingga Panjang. Balok *I Girder* dapat dilihat pada gambar 3. 2 berikut.



Gambar 3. 2 I-Girder

(Sumber: jayasentrikon.com)

2. *U-Girder*

Girder berbentuk U ini memiliki kelebihan yaitu pada bentuknya yang stabil dan pengerjannya yang mudah serta cepat, sehingga cocok untuk berbagai jenis proyek. Balok berbentuk U unik karena tendonnya berpasangan. Untuk menarik hingga ke atas, susunan tendon ini memerlukan penggunaan dua dongkrak secara bersamaan. *U Girder* dapat dilihat pada gambar 3. 3 berikut.



Gambar 3. 3 U-Girder

(Sumber: ibb.jatimprov.go.id)

3. *Box Girder*

Box Girder berbentuk trapesium atau persegi Panjang yang memiliki rongga dan biasanya terbuat dari beton prategang, baja, atau kombinasi keduanya. *Box Girder* mempunyai keunggulan utama yaitu mampu menahan beban besar dan gaya torsi, sehingga efisien untuk jembatan dengan bentang yang Panjang. Dibandingkan dengan I Girder, *Box Girder* lebih mahal dan lebih sulit untuk dibuat. *Box Girder* dapat dilihat pada gambar 3. 4 berikut.



Gambar 3. 4 Box-Girder

(Sumber: proyekin.com)

4. T Girder

T Girder terdiri dari badan dan plat lantai yang menyatu. Balok T Girder umumnya digunakan pada jembatan pedestrian atau penyebrangan. T Girder dapat dilihat pada gambar 3. 5 berikut.



Gambar 3. 5 T-Girder
(Sumber: waskitaprecast.co.id)

3.7.2 Erection Girder

Erection girder adalah suatu proses penempatan balok *girder* ke atas tumpuannya. Metode *crawler crane* dan *launching gantry* adalah beberapa metode yang paling umum digunakan untuk dalam *erection girder* (Riduan Umar dkk., 2022). Pemilihan metode ini harus disesuaikan dengan keadaan lapangan, jenis *girder*, dan faktor keamanan serta efisiensi waktu.

3.8 Fault Tree Analysis (FTA)

Menurut Kadang dkk., (2023) *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah suatu metode untuk menemukan risiko yang berperan langsung terhadap terjadinya kegagalan. FTA digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Saat ini FTA sudah banyak dipakai di berbagai industri, termasuk di bidang konstruksi.

Fault Tree Analysis (FTA) adalah teknik analisis risiko kuantitatif yang menggunakan model logika dan grafik untuk menampilkan kombinasi kejadian yang mungkin baik atau rusak, yang terjadi dalam system, aplikasinya dapat mencakup system, peralatan dan sebagai analisis Nur, (2018). Metode ini menggunakan pendekatan *top down*, dimulai dari kegagalan atau kerugian utama (*Top Event*), kemudian menguraikan penyebab-penyebabnya secara bertahap hingga mencapai akar penyebab (*root cause*) Kadang dkk., (2023). *Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode analisis yang efektif dalam menelusuri akar permasalahan karena mampu menunjukkan bahwa suatu kejadian tidak diinginkan atau kerugian yang muncul umumnya tidak disebabkan oleh satu kegagalan tunggal. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam penelitian ini tidak hanya digunakan sebagai konsep umum identifikasi kegagalan, tetapi difokuskan sebagai alat analisis sebab-akibat untuk mengidentifikasi akar penyebab risiko kecelakaan kerja secara sistematis. FTA diterapkan dengan menetapkan satu kejadian puncak (*top event*) yang bersifat fatal, kemudian diturunkan ke dalam kejadian antara (*intermediate event*) dan kejadian dasar (*basic event*) berdasarkan hubungan logika AND dan OR. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk memahami bahwa kecelakaan kerja pada pekerjaan erection girder bukan disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan merupakan hasil kombinasi beberapa faktor kegagalan dari aspek manusia, lingkungan, teknis, dan manajemen K3.

3.8.1 Manfaat *Fault Tree Analysis*

Menurut Taufiq, (2023), adapun manfaat *Fault Tree Analysis* sebagai berikut:

1. Dapat mengetahui variabel yang menjadi penyebab kegagalan
2. Menentukan tahap peristiwa yang paling berpotensi menyebabkan kegagalan
3. Menganalisis faktor risiko yang mungkin muncul seelum kegagalan terjadi
4. Melakukan pemeriksaan terhadap kegagalan yang terjadi

3.8.2 Kelebihan *Fault Tree Analysis*

Menurut Juliano, (2020) kelebihan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* sebagai berikut:

1. Mudah menjelaskan semua perbedaan interaksi penyebab untuk menghasilkan kerugian
2. Penyebab dasar dan logis dalam penyebab kerugian bisa dimengerti
3. Dapat membuat Tindakan pencegahan yang tepat untuk meminimalisir penyebab dasar sehingga kerugian yang sama tidak akan muncul lagi
4. Dapat menghitung evaluasi kualitatif kerugian

3.8.3 Kekurangan *Fault Tree Analysis*

1. Melanjutkan analisis secara lebih mendalam dapat menyebabkan pohon kesalahan menjadi sangat besar dan rumit
2. Kualitas analisis sangat bergantung pada kemampuan atau keahlian individu yang melakukannya
3. Penerapan atau implementasi hasil analisis ini memakan biaya yang lebih mahal.

3.8.4 Langkah-Langkah Mengerjakan *Fault Tree Analysis*

Menurut Relawati (2018), langkah-langkah FTA sebagai berikut :

1. Menentukan masalah yang akan dianalisis (problem definition).
2. Menetapkan model grafis FTA, mulai dari event tingkat atas, event berikutnya, dan terakhir hingga event dasar. Pohon kesalahan harus diselesaikan di setiap level hingga kejadian dasar.
3. Mencari jawaban atas permasalahan FTA atau (solusi FTA) merupakan berbagai kemungkinan kombinasi resiko yang mungkin bisa terjadi
4. Menentukan *minimum cut set*, adapun langkah-langkahnya adalah:
 - a. Modifikasi FTA menjadi gerbang AND dan OR gate saja.
 - b. Menamai setiap peristiwa.
 - c. Merubah logika pohon kegagalan menjadi persamaan Boolean.
 - d. Penentuan *minimal cut set* dengan menyederhanakan (mereduksi) persamaan boolean menjadi bentuk sederhana, dengan aturan seperti dalam tabel berikut:

Tabel 3. 1 Operasi Hukum Aljabar Boolean

No	Designation	Engineering Symbolism	
1	Identitas	$X + 0 = X$	$X \cdot 1 = X$
2	Komplen	$X + X' = 1$	$X \cdot X' = 0$
		$X + X = X$	$X \cdot X = X$
		$X + 1 = 1$	$X \cdot 0 = 0$
3	Involution	$(X)' = X$	
4	Comunitative	$X + Y = Y + X$	$X \cdot Y = Y \cdot X$
5	Associative	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$	$X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$
6	Distributive	$X \cdot (Y + Z) = (X \cdot Y) + (X \cdot Z)$	$X + (Y \cdot Z) = (X + Y) \cdot (X + Z)$
7	De Morgan	$(X + Y)' = X' \cdot Y'$	$(XY)' = X' + Y'$
8	Absortion	$X + X \cdot Y = X$	$X \cdot (X + Y) = X$

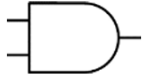



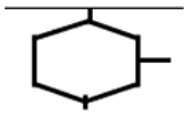
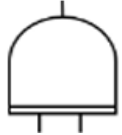
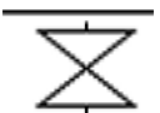
Pada penelitian ini mengintegrasikan hukum Aljabar Boolean Distributif, di mana operator *OR* disimbolkan dengan (+) dan operator *AND* disimbolkan dengan (-). Dalam membuat model pohon kesalahan dapat dilakukan dengan cara wawancara dengan ahli K3 untuk mendapatkan gambaran komprehensif mengenai sumber kecelakaan.. Selanjutnya sumber-sumber kecelakaan kerja tersebut digambarkan dalam bentuk model pohon kesalahan. Hasil yang didapat setelah pengerjaan FTA ialah peluang munculnya kejadian terpenting dalam sistem dan mendapatkan akar permasalahan penyebabnya. Akar permasalahan tersebut kemudian digunakan untuk memperoleh prioritas solusi permasalahan yang tepat pada sistem tersebut.

3.8.5 Simbol-Simbol *Fault Tree Analysis*

Simbol-simbol dalam FTA dibedakan menjadi dua, yaitu:



1. Simbol-simbol gerbang (*gate*). Simbol gate digunakan untuk menunjukkan hubungan antar kejadian dalam sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara pribadi atau bersama-sama menyebabkan kejadian lain muncul.
2. Simbol-simbol kejadian (*event*). Simbol kejadian digunakan untuk menunjukkan sifat dari setiap kejadian dalam sistem. Simbol-simbol kejadian ini akan lebih memudahkan dalam mengidentifikasi kejadian yang terjadi.

Tabel 3. 2 Simbol-simbol Gerbang

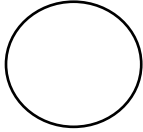
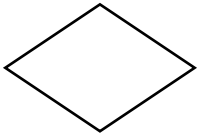
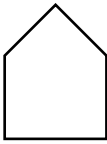
No	Simbol gate	Nama dan Keterangan
1		<i>And gate. Output event terjadi jika semua input event terjadi secara bersamaan.</i>
2		<i>Or gate. Output event terjadi jika paling tidak satu input event terjadi.</i>
3		<i>K out of n gate. Output event terjadi jika paling sedikit k output dari n input event terjadi.</i>
4		<i>Exclusive OR gate. Output event terjadi jika satu input event, tetapi tidak terjadi.</i>
5		<i>Inhibit gate. Input menghasilkan output jika conditional event ada.</i>
6		<i>Priority AND gate. Output event terjadi jika semua input event terjadi baik dari kanan maupun kiri.</i>
7		<i>Not gate. Output event terjadi jika input event tidak terjadi</i>

Sumber: Blanchard, 2004 (Dikutip dari Djamal dan Rifki, 2015)

Tabel 3. 3 Simbol-simbol Kejadian

No	Simbol gate	Nama dan keterangan
1		Gambar <i>ellipse</i> menunjukkan kejadian pada level paling atas (<i>top level event</i>) dalam pohon kesalahan
2		Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level menengah (<i>intermediate fault event</i>) dalam pohon kesalahan

Lanjutan Tabel 3.3 Simbol-simbol Kejadian

No	Simbol gate	Nama dan keterangan
3		Gambar <i>circle</i> menunjukkan kejadian pada level paling bawah (<i>lowest level failure event</i>) atau disebut kejadian paling dasar (<i>basic event</i>)
4		Gambar <i>diamond</i> menunjukkan kejadian yang tidak terduga (<i>undeveloped event</i>). Kejadian - kejadian tak terduga dapat dilihat pada pohon kesalahan dan dianggap sebagai kejadian paling awal yang menyebabkan kerusakan.
5		Gambar <i>house</i> menunjukkan kejadian input (<i>input event</i>) dan merupakan kegiatan terkendali (<i>signal</i>). Kegiatan ini dapat menyebabkan kerusakan

Sumber: Blanchard, 2004 (Dikutip dari Djamal dan Rifki, 2015)

3.9 Metode *Design Thinking*

Metode *Design Thinking* merupakan pendekatan pemecahan masalah yang berpusat pada pengguna (*human-centered approach*). Metode ini menekankan pada pemahaman kebutuhan pengguna secara mendalam, menghasilkan ide secara kreatif, serta menguji solusi secara berulang hingga diperoleh solusi yang paling efektif. Metode ini dipahami sebagai suatu pendekatan berpikir yang bersifat menyeluruh dengan fokus pada perumusan solusi. Prosesnya diawali dengan pemahaman mendalam terhadap kebutuhan pengguna melalui pendekatan yang berorientasi pada manusia, sehingga mampu menghasilkan inovasi yang berkelanjutan sesuai dengan kebutuhan dan permasalahan yang dihadapi pengguna (Razi dkk., 2018). Secara umum, *Design Thinking* terdiri dari lima tahapan utama,

Empathize, Define, Ideate, Prototype, dan Test. Kelima tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Empathize* (Empati), tahap *Empathize* merupakan tahap awal dalam metode *Design Thinking* yang bertujuan untuk memahami kebutuhan, pengalaman, serta permasalahan yang dialami oleh pengguna. Pada tahap ini, peneliti atau perancang melakukan pengumpulan informasi melalui observasi, wawancara, maupun diskusi dengan pengguna agar dapat memperoleh gambaran yang jelas mengenai permasalahan yang terjadi.
- b. *Define* (Pendefinisian Masalah), merupakan proses merumuskan dan mendefinisikan permasalahan utama berdasarkan informasi yang diperoleh pada tahap *empathize*. Pada tahap ini, berbagai temuan dari proses observasi dan wawancara dianalisis untuk mengidentifikasi inti permasalahan yang perlu diselesaikan.
- c. *Ideate* (Pengembangan Ide), merupakan proses menghasilkan berbagai ide atau solusi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan yang telah didefinisikan sebelumnya. Pada tahap ini, proses berpikir kreatif sangat diperlukan untuk menghasilkan berbagai alternatif solusi yang inovatif.
- d. *Prototype* (Pembuatan Prototipe), merupakan proses pembuatan model atau rancangan awal dari solusi yang telah dihasilkan pada tahap *ideate*. Prototipe ini dapat berupa model sederhana, sketsa desain, simulasi sistem, maupun bentuk lain yang dapat menggambarkan konsep solusi yang diusulkan.
- e. *Test* (Pengujian), merupakan proses pengujian prototipe yang telah dibuat kepada pengguna untuk mengetahui apakah solusi yang dihasilkan sudah sesuai dengan kebutuhan dan mampu menyelesaikan permasalahan yang ada, Pada tahap ini, pengguna memberikan umpan balik terhadap prototipe yang telah dibuat. Hasil pengujian tersebut kemudian digunakan untuk melakukan perbaikan atau pengembangan lebih lanjut terhadap solusi yang dihasilkan. Proses ini dapat dilakukan secara berulang hingga diperoleh solusi yang paling efektif dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Dalam penelitian ini, penerapan metode *Design Thinking* digunakan terutama pada proses identifikasi dan analisis penyebab permasalahan yang terjadi pada

sistem keselamatan kerja. Informasi yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara serta studi literatur dianalisis untuk menentukan berbagai faktor yang mempengaruhi terjadinya permasalahan. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan dalam proses penentuan faktor penyebab yang dikategorikan sebagai *intermediate event* dan *basic event* pada analisis penelitian. Dengan demikian, metode *Design Thinking* membantu peneliti dalam memahami akar permasalahan secara lebih komprehensif serta merumuskan solusi yang lebih tepat berdasarkan penyebab utama yang telah diidentifikasi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian pada hakikatnya merupakan prosedur ilmiah yang digunakan untuk mengumpulkan data dengan tujuan dan fungsi tertentu Sugiyono, (2013). Metode ini mencakup perencanaan kegiatan, yang mencakup langkah-langkah pelaksanaan, jenis data yang digunakan, metode pengumpulan dan analisis data.

4.2 Subjek dan Objek Penelitian

Subjek penelitian ini merupakan individu yang memiliki keterlibatan langsung dengan proses pekerjaan *erection girder* dan petugas Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) atau HSE di proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Paket 1 Seksi 2.2. Sedangkan objek pada penelitian ini yaitu mengenai risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* di proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Paket 1 Seksi 2.2.

4.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan tahapan penting dalam proses penelitian. Pengumpulan data bertujuan untuk mendapatkan informasi yang tepat dan akurat guna sebagai landasan dasar analisis. Data yang diperoleh dari penelitian tersebut merupakan data hasil pengamatan (empiris) yang memenuhi syarat tertentu, yaitu valid Sugiyono, (2013). Data yang dikumpulkan dibagi menjadi 2 jenis, yaitu data primer dan data sekunder, penjelasannya sebagai berikut:

1. Data Primer

Sugiyono, (2013), data primer merupakan sumber data asli yang dikumpulkan langsung oleh peneliti untuk menjawab persoalan yang ada dalam penelitian. Sumber data ini diperoleh dari pihak pertama, biasanya melalui wawancara,

observasi, dan metode lainnya. Dalam penelitian ini data primer diperoleh melalui tinjauan langsung ke lapangan pada pekerjaan *erection girder*. Tinjauan lapangan dilakukan untuk mengamati secara langsung aktivitas kerja, kondisi lingkungan, penggunaan peralatan, serta perilaku pekerja yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja. Data hasil observasi kemudian dikonsultasikan kepada pihak terkait, seperti HSE dan pengawas lapangan, dengan tujuan untuk mengklarifikasi temuan di lapangan serta memastikan kesesuaian identifikasi faktor penyebab kecelakaan kerja. Selain itu, data primer juga diperoleh melalui wawancara tidak formal dengan pihak terkait di lapangan. Wawancara dilakukan secara fleksibel yang mana tidak dituangkan dalam bentuk transkrip tertulis guna sebagai bahan validasi terhadap hasil observasi lapangan, serta menggali informasi mengenai tahapan pekerjaan, kondisi lingkungan kerja, juga potensi bahaya dan risiko yang sering atau mungkin terjadi selama pekerjaan *erection girder*. Informasi yang diperoleh digunakan sebagai dasar dalam penentuan *top event*, *intermediate event*, *basic event* dan penyusunan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA).

2. Data Sekunder

Sugiyono, (2023), data sekunder adalah data yang diperoleh dari catatan peristiwa sudah berlalu. Data sekunder merupakan data tambahan yang diperoleh bukan secara langsung oleh peneliti, melainkan dikumpulkan oleh pihak lain atau berdasarkan penelitian terdahulu, jurnal *handbook*, dll. Data ini digunakan untuk mendukung informasi primer yang diperoleh.

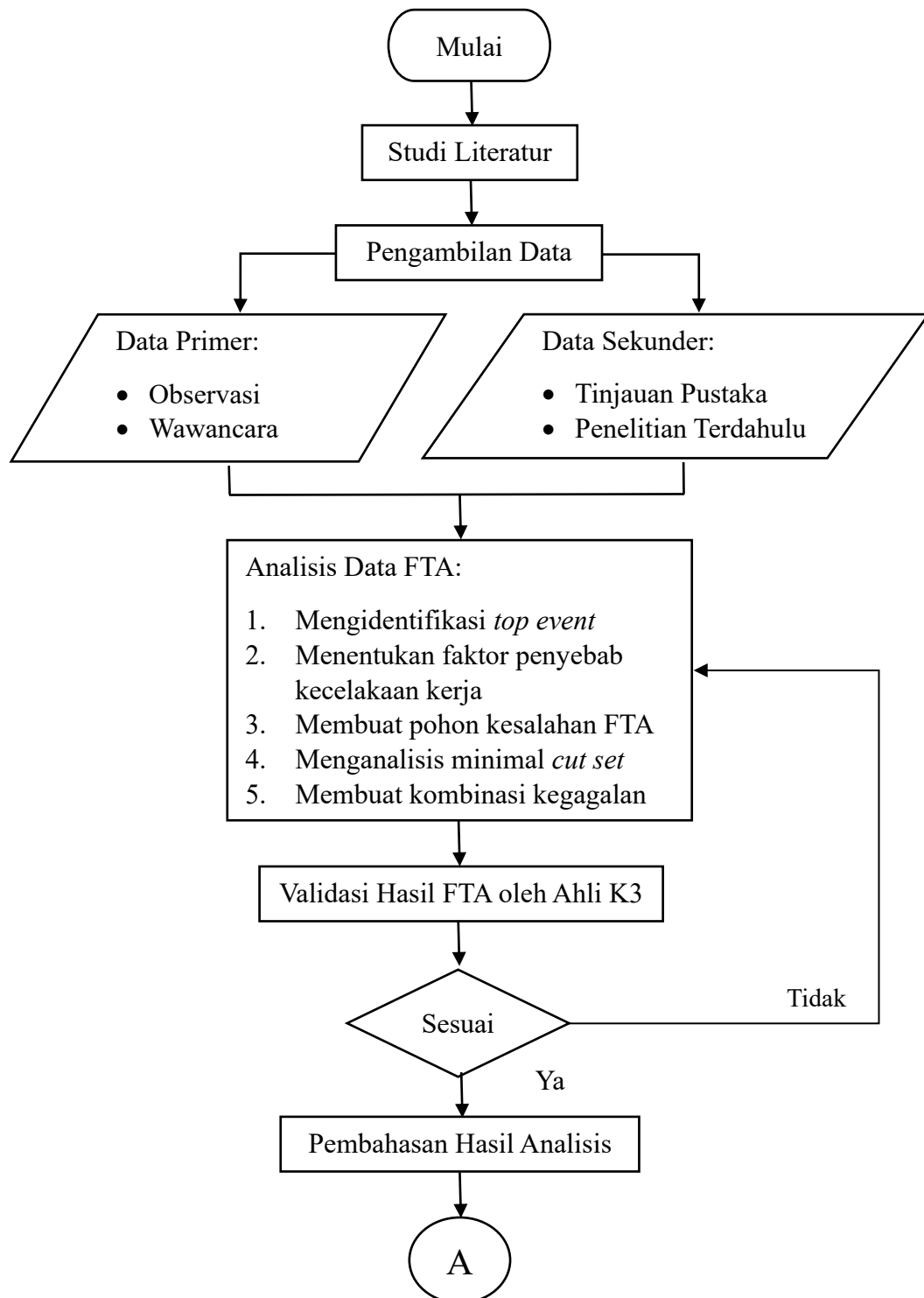
4.4 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Fault Tree Analysis*. Proses analisis bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab dari suatu kejadian yang tidak diinginkan (*top event*). Seluruh tahapan analisis didasarkan pada data primer (wawancara dan observasi) dan data sekunder (penelitian terdahulu, jurnal, dll) yang telah dikumpulkan. Proses analisis data dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahapan berikut:

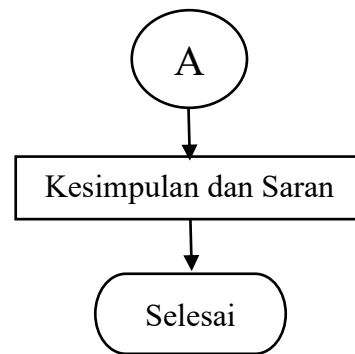
1. Mengidentifikasi adanya kegagalan yang terjadi berdasarkan kondisi nyata untuk menemukan *top event*, kemudian dilakukan analisis mendalam guna mengetahui penyebab kegagalan hingga mencapai kegagalan dasar (*basic event*).
2. Membuat pohon kesalahan menggunakan simbol-simbol FTA, dengan menunjukkan bagaimana *top event* dapat terjadi, sehingga jalur terjadinya kegagalan dapat dipahami.
3. Menganalisis minimal *cut set* dengan menggunakan aljabar *Boolean* untuk menyederhanakan rangkaian logika rumit menjadi lebih sederhana. *Cut set* merupakan gabungan dari beberapa *basic event* yang jika semuanya terjadi secara bersamaan, akan menyebabkan terjadinya *top event*.
4. Menetapkan Langkah pengendalian risiko yang tepat berdasarkan kombinasi kegagalan dengan mengacu pada hierarki pengendalian risiko.

4.5 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian di bawah ini menjelaskan alur penelitian secara bertahap.



Gambar 4. 1 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.1 Diagram Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada studi kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2, ruas Trihanggo – Junction Sleman. Proyek ini terletak di area Ring Road Utara, Simpang Empat Kronggahan, Kapanewon Gamping, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pada penelitian ini, data diperoleh dari observasi langsung di lapangan dan melakukan wawancara tidak formal dengan salah satu HSE proyek. Wawancara tersebut bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai tahapan pelaksanaan pekerjaan erection girder, potensi risiko kecelakaan kerja, serta penerapan K3 di lapangan.

Selain itu, identifikasi risiko kecelakaan kerja juga dilakukan melalui pengamatan langsung selama pelaksanaan pekerjaan *erection girder* yang dilaksanakan pada malam hari. Observasi lapangan dilakukan selama dua malam kerja untuk mengamati kondisi lingkungan kerja, aktivitas pekerja, penggunaan peralatan, serta potensi risiko yang mungkin timbul selama proses pekerjaan berlangsung. Data yang diperoleh dari hasil observasi dan wawancara selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko kecelakaan kerja menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

5.2 Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengidentifikasi risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *Erection Girder*, lalu dilanjutkan dengan menetapkan *top event* dari risiko kecelakaan tersebut. Kemudian, dilakukan penggambaran grafik *Fault Tree Analysis* (FTA) berdasarkan *top event* yang telah ditetapkan untuk mengidentifikasi faktor-faktor atau akar penyebab risiko kecelakaan itu terjadi. Faktor atau akar

penyebab yang diperoleh selanjutnya ditetapkan sebagai *basic event*. Tahap berikutnya adalah menganalisis kemungkinan terjadinya kecelakaan melalui kombinasi-kombinasi kejadian yang memungkinkan.

5.2.1 Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan *Erection Girder*

Setiap aktivitas pekerjaan konstruksi memiliki potensi terjadinya kecelakaan kerja yang tidak diharapkan oleh seluruh pihak yang terlibat. Hal ini terutama berlaku pada proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Jogja – NYIA Kulon Progo khususnya pekerjaan *erection girder* pada Seksi 2 Paket 2.2. Berdasarkan tinjauan langsung ke lokasi pekerjaan dan hasil wawancara, serta studi literatur terkait risiko pada pekerjaan *erection girder*, didapatkan data risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 1 Identifikasi Risiko Kecelakaan Kerja Pada Pekerjaan *Erection Girder*

No.	Item Pekerjaan
1	Kecelakaan pada Tenaga Kerja
A	Pengaitan Titik Angkat ke Crane
A1	Tangan/jari pekerja terjepit
A2	Pekerja tertimpa peralatan rigging
B	Pengaitan Titik Angkat Girder ke Crane
B1	Pekerja tertimpa sling crane
B2	Pekerja Terjatuh dari atas girder
B3	Tangan/jari pekerja terjepit
C	Pengangkatan Girder Mengarah ke Pier
C1	Pekerja tertimpa girder yang jatuh
C2	Pekerja terbentur girder yang berayun
C3	Pekerja tertimpa girder
D	Penurunan dan Penempatan Girder ke Pier
D1	Pekerja terjepit antara girder dan pier
D2	Pekerja terjatuh dari ketinggian
D3	Pekerja terbentur girder
E	Braching Girder
E1	Pekerja terkena serpihan las
E2	Pekerja terpapar cahaya las
E3	Pekerja terjatuh dari ketinggian
E4	Iritasi akibat terpapar asap las

5.2.2 Menentukan *Top Event*

Top event atau kejadian puncak merupakan permasalahan utama dalam analisis ini yang dapat menyebabkan atau berpotensi menimbulkan kecelakaan atau kesalahan sistem. Berdasarkan hasil identifikasi risiko pada pekerjaan *erection girder*, *top event* dalam penelitian ini ditetapkan sebagai kecelakaan kerja pada tenaga kerja. Penetapan *top event* tersebut didasarkan pada fokus penelitian yang secara khusus meninjau risiko kecelakaan yang dapat dialami pekerja selama pelaksanaan pekerjaan *erection girder*. Dari *top event* tersebut kemudian diturunkan dua jenis risiko kecelakaan utama yang memiliki potensi tinggi terjadi pada pekerjaan *erection girder*, yaitu pekerja tertimpa girder dan pekerja terjatuh dari ketinggian.

Pemilihan kedua risiko utama tersebut didasarkan pada besarnya dampak apabila kecelakaan tersebut benar-benar terjadi di lapangan. Pada pekerjaan *erection girder*, girder yang diangkat memiliki berat yang sangat besar sehingga apabila terjadi kegagalan pengangkatan atau pergerakan material yang tidak terkendali, pekerja yang berada di sekitar area kerja berpotensi mengalami kecelakaan fatal akibat tertimpa girder. Selain itu, proses pemasangan girder juga mengharuskan pekerja melakukan aktivitas kerja pada ketinggian, seperti saat proses penyelarasan dan penempatan girder pada tumpuan struktur. Kondisi tersebut menimbulkan risiko pekerja terjatuh dari ketinggian yang dapat mengakibatkan cedera serius bahkan kematian. Oleh karena itu, kedua jenis kecelakaan tersebut dipilih sebagai risiko utama dalam penelitian ini karena memiliki potensi dampak yang sangat besar terhadap keselamatan tenaga kerja pada pekerjaan *erection girder*.

5.2.3 Menentukan Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan

Berdasarkan *top event* yang sudah ditetapkan pada sub bab sebelumnya, selanjutnya dilakukan identifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kecelakaan. Faktor-faktor penyebab tersebut kemudian dikategorikan sebagai *intermediate event* yang merepresentasikan penyebab umum dari *top event*. Dari *intermediate event*, analisis dilanjutkan dengan mempersempit dan memperjelas hubungan

penyebab hingga diperoleh *basic event*. *Basic event* merupakan kejadian paling mendasar yang menjadi penyebab langsung terjadinya *intermediate event* dan pada akhirnya berkontribusi terhadap terjadinya *top event*. Penentuan *basic event* ini dilakukan berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan dan hasil wawancara dengan narasumber terkait serta studi literatur yang tersedia. sehingga *basic event* yang diperoleh sesuai dengan kondisi sesungguhnya pekerjaan.

Penentuan penyebab kecelakaan kerja bertujuan untuk mempermudah penyusunan struktur grafis *Fault Tree Analysis* (FTA) serta memahami urutan terjadinya kecelakaan secara sistematis. Melalui identifikasi faktor-faktor penyebab ini, analisis dapat dilakukan dari berbagai aspek dan keterkaitan antar peristiwa, sehingga diagram FTA yang dihasilkan memiliki struktur yang sederhana tetapi mampu menggambarkan keterkaitan berbagai peristiwa yang terjadi secara menyeluruh. Informasi mengenai peristiwa tersebut diperoleh peneliti melalui pengamatan langsung di lapangan serta wawancara dengan pihak HSE. Selanjutnya, peristiwa-peristiwa yang teridentifikasi dikelompokkan berdasarkan faktor-faktor penyebab yang berkaitan.

Pada risiko kecelakaan ini, terdapat empat faktor penyebab kecelakaan kerja secara umum yaitu faktor pekerja/manusia, faktor lingkungan, faktor teknis, dan faktor manajemen K3. Empat faktor ini dikategorikan sebagai *intermediate event*, yang menunjukkan bahwa masih ada penyebab lain yang lebih mendasar dalam terjadinya kecelakaan kerja. Penyebab mendasar tersebut selanjutnya ditetapkan sebagai *basic event*, yaitu penyebab paling dasar yang tidak dapat ditelusuri lebih lanjut dalam analisis. Uraian mengenai kemungkinan penyebab kejadian kecelakaan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5. 2 Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja

<i>Intermediate Event</i>	Penyebab Kecelakaan
Faktor Manusia	- Kurangnya keterampilan - Tidak fokus
Faktor Lingkungan	- Cuaca buruk - Area kerja terbatas

Lanjutan Tabel 5.2 Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja

<i>Intermediate Event</i>	Penyebab Kecelakaan
Faktor Teknis	<ul style="list-style-type: none">- Peralatan belum layak digunakan- Metode pelaksanaan tidak sesuai
Faktor Manajemen K3	<ul style="list-style-type: none">- Minimnya pengawasan dan kesadaran- Ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK

Data tersebut diperoleh melalui hasil wawancara dengan HSE dan studi literatur yang didapat oleh peneliti. Adapun berikut ini adalah rencana grafis permodelan risiko kecelakaan kerja pada tenaga kerja.



Gambar 5. 1 Rencana Permodelan Grafis Pekerja Terjatuh dari Ketinggian

Penentuan *intermediate event* dan *basic event* pada penelitian ini dilakukan melalui analisis yang mengacu pada studi literatur mengenai penyebab kecelakaan kerja di sektor konstruksi. Dari banyaknya faktor yang ditemukan, kemudian dilakukan penyaringan dengan menyesuaikan terhadap kondisi lapangan pekerjaan erection girder di proyek pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo. Proses identifikasi pada penelitian ini dilakukan secara top-down, yaitu dimulai dari kejadian utama (*top event*) kemudian ditelusuri ke berbagai penyebab yang lebih spesifik hingga mencapai kejadian dasar (*basic event*). Menurut berbagai penelitian mengenai keselamatan kerja pada proyek konstruksi, penyebab kecelakaan kerja pada umumnya berasal dari beberapa faktor utama, yaitu faktor manusia, faktor lingkungan kerja, faktor teknis peralatan, serta faktor manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Keempat faktor tersebut sering digunakan dalam analisis kecelakaan kerja pada proyek konstruksi karena masing-masing memiliki kontribusi yang signifikan terhadap tingkat risiko kecelakaan kerja.

Berdasarkan hasil dari rencana permodelan grafis *Fault Tree Analysis* (FTA) kecelakaan kerja pada tenaga kerja yang telah disusun, selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap setiap *intermediate event* dan *basic event* yang membentuk terjadinya *top event*. Pembahasan ini bertujuan untuk menjelaskan dasar pemilihan faktor-faktor penyebab serta hubungan sebab–akibat yang terjadi pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

A. Pekerja Terjatuh dari Ketinggian

1. Faktor Manusia

Faktor manusia dipilih sebagai salah satu faktor utama karena pekerjaan *erection girder* sangat bergantung pada aktivitas tenaga kerja. Sulistyaningtyas, (2021) menyatakan bahwa faktor manusia merupakan faktor yang paling dominan dalam menyebabkan kecelakaan kerja pada sektor konstruksi dibandingkan faktor lainnya yang sebagian besar disebabkan oleh tindakan tidak aman (*unsafe action*) yang dilakukan oleh pekerja. Pada pekerjaan *erection girder*, pekerja sering melakukan aktivitas pada struktur dengan ketinggian tertentu sehingga memiliki risiko terjatuh dari ketinggian. Berikut

beberapa faktor manusia yang dapat menyebabkan potensi pekerja terjatuh dari ketinggian pada pekerjaan *erection girder*:

1) Kurangnya Pengetahuan terhadap Prosedur Kerja Aman

Kurangnya pemahaman pekerja mengenai prosedur kerja pada saat pemasangan girder dapat meningkatkan risiko kecelakaan. Pekerja yang tidak memahami tahapan pekerjaan, zona aman, serta potensi bahaya saat bekerja di atas struktur girder cenderung melakukan tindakan yang berisiko. Kondisi ini dapat menyebabkan pekerja berada pada posisi yang tidak aman sehingga meningkatkan kemungkinan terjatuh dari ketinggian. Sumber penyebab risiko kecelakaan disebabkan oleh 3 faktor, yaitu faktor manusia, faktor peralatan/material, dan faktor lingkungan di mana kurangnya pemahaman prosedur menjadi bagian dari faktor manusia utama pada *erection girder* (Damayanti, 2021).

2) Kurangnya Keterampilan

Pekerjaan *erection girder* membutuhkan keterampilan khusus, terutama dalam pekerjaan pada ketinggian. Pekerja yang belum memiliki kompetensi yang memadai biasanya mengalami kesulitan dalam menjaga keseimbangan, berpindah posisi pada struktur sempit, serta menggunakan peralatan keselamatan dengan benar. Ketidakmampuan tersebut dapat meningkatkan potensi kehilangan keseimbangan yang berujung pada kecelakaan jatuh. Berdasarkan Taufiq (2023), dalam analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* pada pekerjaan *erection girder* proyek overpass tol Pasuruan–Probolinggo, penelitian tersebut menunjukkan bahwa kurangnya keterampilan dan pengetahuan pekerja merupakan penyebab dominan terjadinya kegagalan struktural girder ambruk, dengan kontribusi sebesar 72,5% yang berasal dari kesalahan proses *rigging*. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kompetensi pekerja dalam memahami prosedur kerja dan penggunaan peralatan pengangkatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat keselamatan kerja, sehingga faktor kurangnya keterampilan relevan untuk digunakan sebagai salah satu faktor utama dalam penelitian ini

3) Tidak Fokus

Kurangnya fokus saat bekerja merupakan faktor manusia yang cukup sering terjadi pada pekerjaan konstruksi. Kondisi ini dapat disebabkan oleh gangguan lingkungan kerja, percakapan dengan pekerja lain, tekanan pekerjaan, atau kelelahan. Ketika pekerja tidak memberikan perhatian penuh terhadap aktivitas yang sedang dilakukan, kemungkinan terjadinya kesalahan langkah atau kehilangan keseimbangan menjadi lebih besar. Dalam pekerjaan konstruksi, kondisi kurangnya konsentrasi sering dikategorikan sebagai tindakan tidak aman (*unsafe action*) yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Penelitian menunjukkan bahwa tindakan tidak aman yang dilakukan pekerja menjadi salah satu faktor dominan penyebab kecelakaan kerja di sektor konstruksi, karena pekerja tidak menjalankan aktivitas kerja dengan perhatian dan kehati-hatian yang memadai (Mayandari dan Inayah, 2023).

4) Kelelahan Fisik

Kelelahan dapat terjadi akibat jam kerja yang panjang, pekerjaan yang bersifat fisik, maupun pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Kondisi kelelahan dapat menurunkan konsentrasi, memperlambat respon tubuh, serta mengurangi kemampuan pekerja dalam menjaga keseimbangan saat berada di ketinggian. Hal ini meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Dalam sektor konstruksi, kelelahan kerja sering muncul akibat tingginya tuntutan fisik pekerjaan dan durasi kerja yang panjang sehingga mempengaruhi kondisi fisik maupun mental pekerja.

5) Sikap Mengabaikan Prosedur Keselamatan

Berdasarkan Putri dan Lestari, (2023), kecelakaan kerja pada proyek konstruksi sering terjadi akibat kurangnya perhatian pekerja terhadap prosedur keselamatan dan kondisi kerja di sekitarnya. Beberapa pekerja terkadang memiliki sikap yang cenderung mengabaikan prosedur keselamatan, misalnya tidak mengikuti metode kerja yang telah ditentukan atau mengambil jalan pintas agar pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat.

Perilaku tersebut dapat meningkatkan potensi kecelakaan karena pekerja tidak bekerja sesuai dengan standar keselamatan yang telah ditetapkan.

6) Kurangnya Kesadaran Keselamatan (*Safety Awareness*)

Kesadaran terhadap pentingnya keselamatan kerja sangat mempengaruhi perilaku pekerja di lapangan. Pekerja yang memiliki tingkat kesadaran keselamatan yang rendah cenderung mengabaikan potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja. Kondisi ini dapat menyebabkan pekerja tidak memperhatikan prosedur keselamatan kerja maupun penggunaan alat pelindung diri secara benar. Dalam sektor konstruksi, rendahnya kesadaran keselamatan sering dikaitkan dengan meningkatnya perilaku tidak aman yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja. Tingkat *safety awareness* yang rendah pada pekerja berpengaruh terhadap kepatuhan pekerja dalam menerapkan prosedur keselamatan kerja serta penggunaan alat pelindung diri. Oleh karena itu, peningkatan kesadaran keselamatan melalui pelatihan, pengawasan, dan penerapan budaya keselamatan kerja menjadi langkah penting dalam upaya pencegahan kecelakaan kerja.

Berdasarkan hasil identifikasi faktor Manusia penyebab kecelakaan pada pekerjaan *erection girder*, diperoleh enam faktor, yaitu kurangnya pengetahuan terhadap prosedur kerja aman, kurangnya keterampilan, tidak fokus, kelelahan fisik, sikap mengabaikan prosedur keselamatan, serta kurangnya kesadaran keselamatan, selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan pendekatan metode *Design Thinking*. Dalam penelitian ini, pendekatan *Design Thinking* digunakan sebagai metode untuk menganalisis dan menyederhanakan berbagai faktor penyebab tersebut sehingga dapat ditemukan faktor utama yang paling berpengaruh terhadap potensi kecelakaan kerja. Melalui tahapan *empathize*, peneliti berupaya memahami kondisi dan perilaku pekerja di lapangan yang berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan. Selanjutnya pada tahap *define*, peneliti mengidentifikasi keterkaitan antar faktor yang telah ditemukan untuk menentukan akar permasalahan yang paling dominan. Dengan menggunakan pendekatan ini, faktor-faktor yang memiliki hubungan atau kesamaan karakteristik dapat

dikelompokkan menjadi faktor yang lebih mendasar, sehingga mempermudah proses analisis serta perumusan solusi keselamatan kerja yang lebih tepat sasaran. Dari proses analisis tersebut, terlihat bahwa beberapa faktor memiliki keterkaitan yang kuat dan dapat dikelompokkan ke dalam penyebab yang lebih mendasar. Faktor kurangnya pengetahuan terhadap prosedur kerja aman, sikap mengabaikan prosedur keselamatan, serta kurangnya kesadaran keselamatan (*safety awareness*) memiliki keterkaitan yang erat dengan kemampuan dan kompetensi pekerja dalam memahami serta menerapkan prosedur kerja yang benar. Ketiga faktor tersebut menunjukkan bahwa pekerja belum memiliki pemahaman dan keterampilan yang memadai dalam menjalankan pekerjaan *erection girder* yang memiliki tingkat risiko tinggi. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Taufiq (2023), yang menyatakan bahwa kurangnya keterampilan dan pengetahuan pekerja menjadi penyebab dominan dalam kegagalan pekerjaan *erection girder* dengan kontribusi sebesar 72,5% pada kesalahan proses *rigging*. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut dapat digabungkan dan direpresentasikan ke dalam satu faktor utama yaitu kurangnya keterampilan, yang mencerminkan keterbatasan kompetensi pekerja dalam memahami prosedur kerja, menggunakan peralatan dengan benar, serta menjaga posisi kerja yang aman saat berada pada ketinggian. Sementara itu, faktor kelelahan fisik dan tidak fokus memiliki hubungan yang erat dengan kondisi psikologis dan tingkat konsentrasi pekerja saat melakukan aktivitas kerja. Kelelahan yang disebabkan oleh jam kerja yang panjang atau pekerjaan fisik yang berat dapat menurunkan tingkat kewaspadaan serta memperlambat respon tubuh pekerja terhadap potensi bahaya. Kondisi tersebut pada akhirnya mempengaruhi kemampuan pekerja untuk tetap fokus dalam melakukan aktivitas kerja di area yang berisiko tinggi. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dapat dikelompokkan ke dalam faktor utama tidak fokus, yang mencerminkan kondisi pekerja yang tidak memberikan perhatian penuh terhadap aktivitas kerja sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan langkah, kehilangan keseimbangan, atau tindakan tidak aman lainnya. Berdasarkan proses analisis tersebut, dapat

disimpulkan bahwa enam faktor yang telah diidentifikasi sebelumnya dapat disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling merepresentasikan akar permasalahan pada pekerjaan *erection girder*, yaitu kurangnya keterampilan dan tidak fokus. Kedua faktor ini dianggap sebagai faktor yang paling dominan karena mencerminkan aspek kompetensi pekerja serta kondisi konsentrasi saat bekerja, yang secara langsung mempengaruhi keselamatan pekerja terutama pada pekerjaan konstruksi dengan risiko tinggi seperti pekerjaan pada ketinggian. Oleh karena itu, kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a) Kurangnya keterampilan dipilih sebagai salah satu *intermediate event* karena pekerjaan *erection girder* memerlukan kemampuan teknis tertentu. Pekerja yang tidak memiliki keterampilan yang memadai berpotensi melakukan kesalahan dalam proses pekerjaan *erection girder*. Kurangnya keterampilan pekerja dalam pekerjaan konstruksi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan kemampuan individu maupun proses pembelajaran kerja di lapangan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja antara lain sebagai berikut:

- Kurangnya pendidikan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi secara aman. Pendidikan berperan dalam membentuk kemampuan pekerja dalam memahami informasi teknis, prosedur kerja, serta instruksi keselamatan yang diberikan di lapangan. Pekerja yang memiliki tingkat pendidikan yang rendah cenderung mengalami kesulitan dalam memahami standar operasional prosedur maupun metode kerja yang aman. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kesalahan kerja yang berisiko menimbulkan kecelakaan. Kemampuan pekerja

dalam memahami aspek keselamatan kerja sangat dipengaruhi oleh tingkat pendidikan yang dimiliki.

- Selanjutnya tidak adanya pengalaman kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi. Pekerja yang belum memiliki pengalaman kerja umumnya belum terbiasa menghadapi berbagai kondisi pekerjaan di lapangan serta belum memiliki kemampuan yang cukup dalam mengidentifikasi potensi bahaya yang dapat terjadi selama proses pekerjaan berlangsung. Pengalaman kerja juga berkaitan dengan kemampuan pekerja dalam mengidentifikasi potensi bahaya sehingga dapat meminimalkan terjadinya kesalahan kerja yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja (Mayandari dan Inayah, 2023).
- Faktor ketiga kurangnya pelatihan kerja. pelatihan kerja berperan penting dalam meningkatkan keterampilan pekerja dalam memahami metode kerja serta penggunaan peralatan secara aman. Pekerja yang tidak mendapatkan pelatihan yang memadai cenderung memiliki keterbatasan dalam memahami teknik pekerjaan dan prosedur keselamatan kerja. Pelatihan yang baik dapat membantu pekerja mengenali potensi bahaya dan memahami cara kerja yang sesuai dengan standar keselamatan. Selain itu, pelatihan K3 juga berperan dalam membangun budaya keselamatan kerja sehingga pekerja dapat lebih memahami potensi bahaya yang terdapat di lingkungan kerja.
- Faktor keempat kurangnya penguasaan teknik, berkaitan dengan kemampuan pekerja dalam melaksanakan metode kerja yang sesuai dengan standar teknis yang telah ditetapkan. Dalam sektor konstruksi, kompetensi teknis pekerja merupakan faktor penting dalam mendukung keberhasilan pelaksanaan pekerjaan serta meminimalkan risiko kecelakaan kerja.

Berdasarkan keempat faktor tersebut, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *design thinking*. Kurangnya keterampilan dalam penelitian ini dipilih dua penyebab utama, yaitu tingkat pendidikan pekerja dan pengalaman kerja. Tingkat pendidikan dapat memengaruhi kemampuan pekerja dalam memahami prosedur kerja, instruksi keselamatan, serta komunikasi teknis di lapangan. Pekerja dengan tingkat pendidikan yang rendah cenderung memiliki keterbatasan dalam memahami standar operasional kerja yang aman. Selain itu, pengalaman kerja juga berperan penting dalam membentuk keterampilan pekerja dalam menghadapi kondisi pekerjaan yang berisiko tinggi seperti pekerjaan *erection girder*. Iqbal dan Feri (2014), menunjukkan bahwa tingkat pendidikan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecelakaan kerja. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, tingkat pendidikan menunjukkan hubungan yang cukup kuat terhadap kejadian kecelakaan kerja, dimana nilai koefisien korelasi sebelum dimoderasi sebesar $R = 0,616$ dan setelah dimoderasi meningkat menjadi $R = 0,642$. Selain itu, rendahnya tingkat pendidikan pada pekerja konstruksi seringkali dipengaruhi oleh kondisi ekonomi yang lemah. Keterbatasan ekonomi dapat menyebabkan seseorang tidak mampu melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi sehingga memilih untuk langsung memasuki dunia kerja. Kondisi tersebut umum ditemukan pada sektor konstruksi, dimana sebagian pekerja berasal dari latar belakang ekonomi menengah ke bawah dan memiliki tingkat pendidikan yang relatif rendah. Keterbatasan pendidikan akibat faktor ekonomi ini pada akhirnya dapat mempengaruhi kemampuan pekerja dalam memahami prosedur keselamatan kerja serta instruksi teknis yang diberikan di lapangan, sehingga berpotensi meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan kerja. Selain itu, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pengalaman kerja memiliki pengaruh signifikan terhadap terjadinya kecelakaan kerja, sehingga pekerja yang memiliki pengalaman kerja lebih baik cenderung memiliki tingkat kewaspadaan serta kemampuan kerja yang lebih tinggi dalam

menghadapi potensi bahaya di tempat kerja. Berdasarkan hal tersebut kedua faktor ini dipilih sebagai *basic event* yang memengaruhi kurangnya keterampilan pekerja pada penelitian ini.

b) Faktor tidak fokus dipilih sebagai salah satu penyebab potensi kecelakaan kerja karena pekerjaan *erection girder* dilaksanakan pada malam hari serta melibatkan aktivitas fisik yang cukup berat. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi tingkat konsentrasi dan kewaspadaan pekerja dalam menjalankan pekerjaannya. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja antara lain sebagai berikut:

- Dehidrasi merupakan kondisi ketika tubuh kehilangan cairan dalam jumlah yang cukup besar sehingga dapat memengaruhi fungsi fisiologis tubuh. Kondisi dehidrasi dapat menyebabkan penurunan konsentrasi serta menurunnya kemampuan tubuh dalam mempertahankan stamina selama bekerja.
- Kelelahan kerja, merupakan kondisi menurunnya kapasitas fisik dan mental pekerja akibat aktivitas kerja yang berlangsung dalam waktu yang lama atau melibatkan beban kerja yang tinggi. Kondisi kelelahan dapat menyebabkan berkurangnya ketelitian serta lambatnya respons pekerja dalam menghadapi potensi bahaya. Apabila kondisi ini tidak dikelola dengan baik, maka dapat meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan kerja.
- Rasa mengantuk sering terjadi pada pekerjaan yang dilakukan pada malam hari karena adanya gangguan pada ritme biologis tubuh (*circadian rhythm*). Ramdan dan Handoko (2016) menyatakan bahwa pekerja yang bekerja pada sistem kerja malam cenderung mengalami gangguan pola tidur yang dapat menyebabkan rasa kantuk berlebih, penurunan konsentrasi, serta meningkatnya risiko kecelakaan kerja di lingkungan kerja.
- Stres kerja dapat muncul akibat tekanan pekerjaan, target penyelesaian pekerjaan, maupun kondisi kerja yang menuntut konsentrasi tinggi. Apabila stres kerja berlangsung dalam waktu

yang lama, kondisi tersebut dapat menurunkan performa kerja serta meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan kerja. Putri dan Widajati (2017) menunjukkan bahwa stres kerja memiliki hubungan dengan meningkatnya risiko kecelakaan kerja karena dapat memengaruhi kondisi psikologis pekerja serta menurunkan tingkat kewaspadaan terhadap bahaya di lingkungan kerja.

Berdasarkan pendekatan design thinking, pemilihan faktor yang dianalisis lebih lanjut dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, berbagai kondisi yang dapat memengaruhi tingkat fokus pekerja diidentifikasi melalui kajian literatur dan pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan *erection girder* yang dilakukan pada malam hari serta melibatkan aktivitas fisik yang cukup berat. Dari proses tersebut diperoleh beberapa faktor yang berpotensi memengaruhi konsentrasi pekerja, yaitu dehidrasi, kelelahan kerja, mengantuk, dan stres kerja. Selanjutnya pada tahap *define* dilakukan proses penyederhanaan dengan memilih faktor yang paling relevan dan memiliki keterkaitan langsung dengan kondisi fisiologis pekerja selama proses pekerjaan berlangsung. Berdasarkan pertimbangan tersebut, dehidrasi, kelelahan, dan mengantuk dipilih sebagai faktor utama karena ketiganya secara langsung berkaitan dengan kondisi fisik pekerja yang dipengaruhi oleh aktivitas kerja berat, durasi kerja, serta pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Sementara itu, faktor stres kerja tidak dipilih karena cenderung berkaitan dengan aspek psikologis yang lebih kompleks serta tidak selalu muncul secara langsung akibat kondisi pekerjaan di lapangan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini analisis lebih difokuskan pada tiga faktor utama tersebut karena dinilai lebih representatif dalam menggambarkan kondisi tidak fokus yang berpotensi memicu kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Menurut Suraji dkk., (2001), produktivitas kerja yang tinggi pada kondisi lingkungan kerja yang tidak aman dapat meningkatkan kemungkinan terjadinya

kecelakaan, karena pekerja cenderung lebih berfokus pada penyelesaian pekerjaan dibandingkan memperhatikan potensi bahaya. Sebaliknya, ketika kondisi kerja berada dalam keadaan aman, probabilitas kecelakaan cenderung lebih kecil meskipun produktivitas pekerja rendah. Selain itu, adanya gangguan fisik di lingkungan kerja dapat meningkatkan kewaspadaan pekerja terhadap bahaya sehingga risiko kecelakaan dapat berkurang. Namun demikian, apabila tingkat fokus pekerja terhadap potensi bahaya rendah, maka probabilitas terjadinya kecelakaan akan meningkat (Suraji dkk., 2001). Berdasarkan teori tersebut, kondisi tidak fokus yang dipengaruhi oleh dehidrasi, kelelahan, dan mengantuk dapat menurunkan tingkat kewaspadaan pekerja terhadap potensi bahaya di area kerja. Dari beberapa faktor yang berperan dalam menurunnya Tingkat fokus, kelelahan kerja menjadi salah satu penyebab penting yang perlu dianalisis lebih lanjut, karena kondisi ini dapat menurunkan konsentrasi dan meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Berdasarkan kajian literatur keselamatan kerja, kelelahan pekerja umumnya dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti beban kerja yang tinggi, durasi kerja yang panjang, kurangnya waktu istirahat, kondisi kesehatan pekerja, serta faktor usia. Namun dalam penelitian ini, penyebab kelelahan dipersempit menjadi dua faktor utama yaitu faktor usia dan kurang istirahat, karena kedua faktor tersebut paling relevan dengan kondisi pekerjaan konstruksi yang dilakukan pada waktu kerja yang panjang serta sering melibatkan pekerja dengan rentang usia yang beragam. Faktor usia menjadi salah satu penyebab yang dapat memicu terjadinya kelelahan pada pekerja konstruksi. Pekerja dengan usia yang lebih tinggi umumnya mengalami penurunan kemampuan fisik serta daya tahan tubuh, sehingga lebih rentan mengalami kelelahan selama melakukan aktivitas kerja yang berat. Kondisi kelelahan tersebut dapat menurunkan tingkat konsentrasi pekerja dan meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Hal ini didukung oleh penelitian Akmalia dkk., (2018) yang menyatakan bahwa usia pekerja berhubungan dengan

kejadian kecelakaan kerja. Selain faktor usia, kurangnya waktu istirahat juga merupakan penyebab utama terjadinya kelelahan pada pekerja. Waktu istirahat yang tidak cukup dapat menyebabkan tubuh tidak memiliki kesempatan untuk memulihkan energi yang telah digunakan selama bekerja. Kondisi ini dapat mengakibatkan penurunan tingkat kewaspadaan serta menurunnya kemampuan pekerja dalam mempertahankan konsentrasi. Dalam pekerjaan *erection girder* yang memiliki tingkat risiko tinggi, penurunan konsentrasi pekerja dapat menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan maupun keterlambatan dalam merespons kondisi berbahaya. Oleh karena itu, faktor tidak fokus menjadi salah satu *basic event* yang penting untuk dianalisis dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA) guna mengidentifikasi potensi penyebab kecelakaan kerja secara lebih sistematis.

2. Faktor Lingkungan

Faktor lingkungan dipilih karena kondisi lingkungan kerja pada proyek konstruksi dapat memengaruhi tingkat keselamatan pekerja. Pada pekerjaan *erection girder*, proses pengangkatan dan penempatan girder umumnya dilakukan di area terbuka serta sering berada di atas jalur lalu lintas atau area proyek yang terbatas, sehingga berpotensi menimbulkan kondisi tidak aman. Hal ini sejalan dengan *Domino Theory* yang menyatakan bahwa kecelakaan merupakan rangkaian sebab akibat yang saling berkaitan, dimana kondisi lingkungan kerja yang tidak aman dapat menjadi salah satu faktor pemicu terjadinya kecelakaan kerja (Suraji dkk., 2001). Berdasarkan berbagai studi literatur, berikut beberapa faktor Lingkungan yang dapat menyebabkan potensi pekerja terjatuh dari ketinggian pada pekerjaan *erection girder*:

1) Cuaca Buruk

Cuaca buruk yang terjadi secara tiba-tiba merupakan faktor lingkungan signifikan yang dapat menyebabkan pekerja terjatuh dari ketinggian. Kondisi ini mencakup angin kencang, hujan lebat, dan perubahan cuaca ekstrem lainnya yang dapat mengganggu keseimbangan pekerja di

ketinggian serta memengaruhi stabilitas peralatan kerja. Selain itu, hujan dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi licin, sehingga meningkatkan risiko pekerja terpeleket atau terjatuh dari ketinggian. Ricky (2018) mengonfirmasi bahwa faktor cuaca/alam merupakan faktor penunjang utama terjadinya kecelakaan pada pemasangan girder. Pekerjaan konstruksi yang dilakukan di area terbuka memiliki risiko tinggi terhadap kecelakaan, khususnya pada pekerjaan di ketinggian yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan kerja termasuk faktor cuaca (Firdaus dan Erwandi, 2023). Oleh karena itu, kondisi cuaca perlu menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi guna meminimalkan potensi kecelakaan kerja.

2) Lingkungan Operasional di Lokasi yang Buruk

Lingkungan operasional di lokasi kerja yang buruk merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Kondisi ini mencakup berbagai situasi yang tidak mendukung keselamatan kerja, seperti kurangnya pencahayaan, tingkat kebisingan yang tinggi, suhu lingkungan yang ekstrem, serta kondisi permukaan kerja yang tidak stabil atau licin. NIH (2023) mengidentifikasi "*Poor on-site operating environment*" (lingkungan operasional di lokasi yang buruk) sebagai salah satu indikator penyebab kecelakaan jatuh dari ketinggian, dengan frekuensi 170 kejadian atau 40,48% dalam studi tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa hampir setengah dari kecelakaan jatuh dari ketinggian dipengaruhi oleh kondisi lingkungan operasional yang tidak memadai. Selain itu, kondisi lingkungan kerja yang tidak terkontrol juga dapat mempengaruhi kinerja serta keselamatan pekerja sehingga perlu dilakukan pengelolaan lingkungan kerja yang baik untuk meminimalkan risiko kecelakaan kerja (Putri dan Lestari, 2023).

3) Lingkungan Hidrogeologi yang Buruk

Lingkungan hidrogeologi yang buruk berkaitan dengan kondisi tanah, air tanah, dan struktur geologi di sekitar area proyek. Kondisi tanah yang tidak stabil, rawan longsor, atau memiliki daya dukung rendah dapat

menyebabkan fondasi crane dan peralatan berat lainnya ambles atau bergeser. Hal ini dapat mengakibatkan ketidakstabilan saat proses pengangkatan girder, yang pada gilirannya membahayakan pekerja di ketinggian yang mungkin terjatuh akibat getaran atau pergerakan mendadak dari peralatan. NIH (2023) mengidentifikasi "*Poor hydrogeological environment*" (lingkungan hidrogeologi yang buruk) sebagai salah satu indikator penyebab kecelakaan jatuh dari ketinggian, dengan frekuensi 20 kejadian atau 4,76% dalam studi tersebut. Meskipun persentasenya relatif kecil, faktor ini tetap perlu diperhatikan karena dampaknya bisa sangat fatal jika terjadi.

4) Area Kerja Terbatas/Sempit

Pekerjaan *erection girder* sering dilakukan di area dengan ruang gerak terbatas, seperti di atas jalan yang sempit atau di antara struktur yang sudah ada. Keterbatasan ruang gerak ini meningkatkan risiko pekerja kehilangan keseimbangan atau terjatuh saat bermanuver di ketinggian. Pada penelitian ini, pekerjaan juga dilaksanakan di jalan yang masih aktif digunakan oleh kendaraan serta berada di area perempatan jalan, sehingga kondisi tersebut semakin membatasi ruang gerak pekerja dan peralatan di lokasi proyek. Kondisi ruang kerja yang sempit dapat menyulitkan proses mobilisasi material dan peralatan serta meningkatkan kompleksitas pekerjaan di lapangan. Keterbatasan ruang gerak tersebut dapat meningkatkan risiko pekerja kehilangan keseimbangan, tersandung, atau terjatuh, terutama ketika pekerjaan dilakukan pada ketinggian. Selain itu, keberadaan lalu lintas kendaraan di sekitar lokasi kerja juga dapat menjadi faktor tambahan yang mempengaruhi konsentrasi pekerja serta keselamatan kerja di area proyek. Kondisi area kerja yang sempit dan tidak tertata dengan baik merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja pada proyek konstruksi (Firdaus dan Erwandi, 2023). Oleh karena itu, pengaturan area kerja yang baik serta penerapan manajemen lalu lintas yang tepat sangat diperlukan untuk mendukung keselamatan pekerja selama proses pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

5) Lalu Lintas di Sekitar Proyek yang Tidak Terkendali

Proyek jalan Tol umumnya berlokasi di area dengan lalu lintas aktif. Kondisi lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali dapat menimbulkan getaran yang memengaruhi stabilitas struktur sementara, mengganggu konsentrasi pekerja di ketinggian, dan menciptakan situasi berbahaya secara keseluruhan. Kendaraan yang melintas terlalu cepat atau terlalu dekat dengan area kerja dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan yang berdampak pada pekerja di ketinggian, misalnya apabila kendaraan menabrak penyangga *crane*, perancah, atau peralatan konstruksi lainnya. Pada penelitian ini, pekerjaan konstruksi dilaksanakan di jalan raya yang masih aktif digunakan oleh masyarakat serta berada pada area perempatan jalan. Kondisi tersebut menyebabkan arus lalu lintas di sekitar lokasi proyek menjadi cukup padat dan kompleks karena adanya kendaraan yang datang dari berbagai arah. Situasi ini meningkatkan potensi gangguan terhadap aktivitas pekerjaan di lapangan, baik berupa getaran dari kendaraan berat, kebisingan, maupun risiko kendaraan yang melintas terlalu dekat dengan area kerja. Hal ini dapat mempengaruhi stabilitas struktur sementara dan konsentrasi pekerja yang bekerja di ketinggian sehingga meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Kecelakaan transportasi di lokasi konstruksi, termasuk tabrakan antara kendaraan yang melintas dengan peralatan maupun pekerja, merupakan salah satu faktor utama penyebab kecelakaan kerja di industri konstruksi. Selain itu, getaran yang dihasilkan oleh lalu lintas kendaraan berat juga dapat mempengaruhi stabilitas struktur tempat pekerja berada di ketinggian sehingga diperlukan pengaturan lalu lintas serta pengamanan area kerja yang memadai untuk meminimalkan risiko kecelakaan.

Berdasarkan hasil identifikasi terhadap kondisi lingkungan kerja pada pekerjaan *erection girder*, ditemukan beberapa faktor yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja, khususnya risiko pekerja terjatuh dari ketinggian. Faktor-faktor tersebut meliputi cuaca buruk, lingkungan operasional di lokasi kerja yang kurang mendukung, kondisi hidrogeologi yang

tidak stabil, keterbatasan area kerja, serta kondisi lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *design thinking* untuk mengelompokkan serta menyederhanakan faktor-faktor tersebut berdasarkan keterkaitan dan karakteristiknya sehingga dapat diperoleh faktor utama yang paling dominan mempengaruhi keselamatan pekerja selama pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Dalam penelitian ini, proses analisis dilakukan melalui tahap memahami kondisi lapangan (*empathize* dan *define*), yaitu dengan mengamati berbagai faktor lingkungan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* di proyek konstruksi jalan tol. Melalui proses analisis dan penyederhanaan masalah dalam pendekatan *design thinking*, faktor-faktor tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan kesamaan karakteristik dan dampaknya terhadap keselamatan pekerja di ketinggian. Hasil pengelompokan menunjukkan bahwa sebagian besar faktor tersebut berkaitan dengan dua aspek utama, yaitu kondisi lingkungan alam dan keterbatasan ruang kerja di lokasi proyek. Oleh karena itu, dalam penelitian ini faktor-faktor tersebut disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling dominan mempengaruhi risiko jatuh dari ketinggian, yaitu cuaca buruk dan area kerja terbatas. Faktor pertama adalah cuaca buruk, yang mencakup berbagai kondisi lingkungan alam yang dapat mempengaruhi keselamatan pekerja saat bekerja di ketinggian. Cuaca buruk seperti angin kencang, hujan lebat, serta perubahan cuaca yang terjadi secara tiba-tiba dapat mengganggu keseimbangan pekerja dan mengurangi stabilitas peralatan kerja yang digunakan dalam proses *erection girder*. Selain itu, kondisi hujan juga dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi licin sehingga meningkatkan risiko pekerja terpeleset atau kehilangan pijakan saat bekerja di ketinggian. Faktor cuaca juga dapat mempengaruhi visibilitas dan konsentrasi pekerja, terutama ketika pekerjaan dilakukan di area terbuka seperti proyek jalan tol. Dalam konteks konstruksi, pekerjaan yang dilakukan di area terbuka memiliki tingkat kerentanan yang tinggi terhadap pengaruh kondisi lingkungan alam. Dengan demikian, kondisi cuaca menjadi salah satu faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan maupun pelaksanaan pekerjaan

konstruksi untuk meminimalkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Faktor kedua adalah area kerja terbatas, yang mencakup berbagai kondisi lingkungan kerja yang berkaitan dengan keterbatasan ruang gerak dan kompleksitas aktivitas di lokasi proyek. Pada pekerjaan *erection girder*, aktivitas konstruksi sering dilakukan di area dengan ruang yang terbatas, seperti di atas jalan raya, di antara struktur yang telah terpasang, maupun di lokasi yang memiliki banyak peralatan konstruksi. Pada penelitian ini, pekerjaan juga dilaksanakan di jalan raya yang masih aktif digunakan oleh masyarakat serta berada di area perempatan jalan. Kondisi tersebut menyebabkan ruang kerja menjadi semakin terbatas karena adanya interaksi antara aktivitas konstruksi dengan lalu lintas kendaraan yang melintas di sekitar lokasi proyek. Keterbatasan ruang gerak ini dapat meningkatkan risiko pekerja kehilangan keseimbangan, tersandung, atau terjatuh saat bermanuver di ketinggian. Selain itu, keberadaan lalu lintas kendaraan juga dapat menimbulkan getaran, kebisingan, serta gangguan konsentrasi bagi pekerja yang sedang melakukan pekerjaan di ketinggian. Situasi ini menunjukkan bahwa kondisi area kerja yang sempit dan tidak tertata dengan baik dapat menjadi salah satu faktor penting yang meningkatkan potensi kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Dengan menggunakan pendekatan *design thinking*, penyederhanaan faktor-faktor risiko menjadi dua faktor utama ini bertujuan untuk mempermudah proses analisis serta penentuan strategi pengendalian risiko pada tahap selanjutnya. Fokus pada faktor cuaca buruk dan area kerja terbatas diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai kondisi lingkungan kerja yang paling berpengaruh terhadap keselamatan pekerja dalam pekerjaan *erection girder*, sehingga langkah-langkah pengendalian risiko dapat dirancang secara lebih efektif dan tepat sasaran. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

- a) Cuaca merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi tingkat keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Hal ini

dikarenakan sebagian besar aktivitas konstruksi dilakukan di area terbuka sehingga sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi cuaca di lingkungan sekitar. Pada pekerjaan *erection girder*, kondisi cuaca menjadi faktor yang penting untuk diperhatikan karena pekerjaan tersebut melibatkan proses pengangkatan material dengan beban yang besar menggunakan alat berat seperti crane. Apabila pekerjaan dilakukan pada kondisi cuaca yang tidak mendukung, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja dapat meningkat. Risiko kerja di bawah kondisi cuaca yang tidak menentu, memiliki potensi besar untuk menimbulkan kecelakaan yang dapat membahayakan pekerja maupun menghambat kelancaran proyek. Secara umum, terdapat beberapa kondisi cuaca buruk yang dapat memengaruhi keselamatan kerja pada proyek konstruksi, antara lain sebagai berikut:

- Hujan merupakan salah satu kondisi cuaca yang dapat memengaruhi keselamatan kerja di proyek konstruksi. Curah hujan yang tinggi dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi basah dan licin sehingga meningkatkan risiko pekerja terpeleset atau terjatuh. Sutrisno dan Wibowo (2018) menunjukkan bahwa kondisi lingkungan kerja yang basah akibat hujan dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada sektor konstruksi karena memengaruhi stabilitas pijakan pekerja serta visibilitas selama bekerja.
- Angin kencang dapat memengaruhi kestabilan material yang sedang diangkat menggunakan alat berat seperti crane. Pada pekerjaan *erection girder*, material yang diangkat memiliki ukuran yang besar serta berat yang cukup signifikan sehingga sangat sensitif terhadap pengaruh angin. Apabila kecepatan angin terlalu tinggi, girder yang sedang diangkat dapat berayun sehingga berpotensi membahayakan pekerja di sekitar area kerja

- Kabut dapat menyebabkan jarak pandang di area kerja menjadi terbatas sehingga memengaruhi kemampuan pekerja dalam mengamati kondisi lingkungan kerja di sekitarnya. Keterbatasan jarak pandang di lingkungan kerja konstruksi dapat memengaruhi efektivitas pengawasan serta koordinasi antar pekerja sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja (Hasibuan dan Kurniawan 2020),
- Suhu udara yang terlalu panas juga dapat memengaruhi kondisi fisik pekerja konstruksi. Paparan panas yang berlebihan dapat menyebabkan pekerja mengalami kelelahan, dehidrasi, serta penurunan konsentrasi selama bekerja. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kemampuan pekerja dalam menjalankan tugas secara aman dan meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan kerja di lapangan.

Berdasarkan pendekatan *design thinking*, pemilihan faktor cuaca yang dianalisis dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai kondisi lingkungan yang berpotensi memengaruhi keselamatan kerja pada pekerjaan *erection girder* melalui kajian literatur serta pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan yang dilakukan di area terbuka. Dari proses tersebut diperoleh beberapa faktor cuaca yang dapat memengaruhi keselamatan kerja, yaitu hujan, angin kencang, kabut atau jarak pandang terbatas, serta suhu udara yang terlalu panas. Selanjutnya pada tahap *define*, peneliti melakukan penyederhanaan dengan memilih faktor yang paling relevan dan memiliki pengaruh langsung terhadap proses pengangkatan girder menggunakan crane. Hujan dan angin malam kencang dinilai paling signifikan dalam memengaruhi potensi kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*, hal ini dikarenakan kedua kondisi cuaca tersebut memiliki pengaruh yang paling signifikan terhadap pekerjaan *erection girder*. Hujan dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi licin sehingga meningkatkan risiko pekerja terpeleset atau

terjatuh. Selain itu, hujan juga dapat mengurangi jarak pandang pekerja saat melakukan pekerjaan di lapangan. Sementara itu, angin kencang dapat memengaruhi kestabilan girder yang sedang diangkat menggunakan crane sehingga berpotensi menyebabkan material berayun dan membahayakan pekerja yang berada di sekitar area kerja. Bhatti (2015) menyatakan bahwa angin kencang dapat secara negatif memengaruhi pengoperasian crane dan alat pengangkat lainnya, terutama saat menangani material berukuran besar seperti girder. Berdasarkan uraian tersebut, faktor cuaca buruk dipilih sebagai salah satu faktor lingkungan yang dianalisis dalam penelitian ini karena memiliki keterkaitan langsung dengan potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan erection girder.

- b) Pada proyek pembangunan jembatan atau jalan, biasanya pekerja sering dihadapkan pada kondisi ruang kerja yang terbatas sehingga ruang gerak pekerja menjadi lebih sempit. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja karena pekerja harus bekerja dalam jarak yang dekat dengan peralatan berat, material konstruksi, maupun aktivitas lainnya yang terjadi di sekitar area proyek. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi area bekerja terbatas antara lain sebagai berikut:
- Kurangnya penerangan merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi keselamatan kerja pada proyek konstruksi, terutama pada pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Penerangan yang tidak memadai dapat menyebabkan visibilitas pekerja menjadi terbatas sehingga menyulitkan pekerja dalam mengamati kondisi lingkungan kerja di sekitarnya.
 - Kondisi lalu lintas kendaraan di sekitar proyek dapat menjadi salah satu faktor yang memengaruhi keselamatan kerja. Lalu lintas yang sulit diatur dapat menyebabkan kendaraan yang melintas berada terlalu dekat dengan area pekerjaan sehingga

berpotensi mengganggu aktivitas pekerja maupun proses pengoperasian alat berat. Pada pekerjaan *erection girder*, proses pengangkatan material menggunakan crane membutuhkan area kerja yang aman serta bebas dari gangguan eksternal.

- Penumpukan material konstruksi serta peralatan kerja di area proyek dapat menyebabkan ruang gerak pekerja menjadi semakin terbatas. Kondisi ini dapat menyulitkan pekerja dalam melakukan mobilitas di area kerja serta meningkatkan potensi pekerja tersandung atau terjatuh.
- Keterbatasan jalur akses merupakan kondisi ketika area proyek tidak memiliki ruang yang cukup untuk pergerakan pekerja maupun alat berat secara aman. Pada proyek konstruksi yang berada di ruang terbatas seperti jalan aktif atau area perkotaan, jalur akses sering kali harus berbagi dengan aktivitas lain sehingga meningkatkan kompleksitas pekerjaan. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya konflik pergerakan antara pekerja, alat berat, serta kendaraan yang melintas sehingga meningkatkan potensi kecelakaan kerja

Pekerjaan *erection girder* pada penelitian ini dilaksanakan pada malam hari dengan tujuan untuk meminimalkan gangguan terhadap arus lalu lintas kendaraan di sekitar area proyek. Pelaksanaan pekerjaan pada malam hari menyebabkan kondisi visibilitas di area kerja menjadi terbatas, sehingga keberadaan penerangan yang memadai sangat diperlukan untuk mendukung aktivitas pekerja. Berdasarkan hal tersebut, kurangnya penerangan dipilih sebagai *basic event* dalam faktor lingkungan area kerja terbatas pada penelitian ini. Selain faktor penerangan, kondisi lalu lintas di sekitar proyek. Kurangnya penerangan di lapangan kerja merupakan faktor lingkungan signifikan yang sering menyebabkan kecelakaan kerja, terutama di sektor konstruksi saat lembur malam hari. Hal ini mengurangi visibilitas pekerja, sehingga meningkatkan risiko tersandung, jatuh dari

ketinggian, atau collision dengan alat berat (Arman dkk., 2022). Berdasarkan hal tersebut, kurangnya penerangan dipilih sebagai *basic event* dalam faktor lingkungan area kerja terbatas pada penelitian ini. Selain faktor penerangan, kondisi lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali juga merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, proses pengangkatan girder menggunakan crane biasanya membutuhkan area kerja yang cukup luas serta kondisi lingkungan yang relatif aman dari gangguan eksternal. Apabila lalu lintas di sekitar proyek tidak diatur dengan baik, maka kendaraan yang melintas dapat mengganggu proses pekerjaan serta meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja. Berdasarkan pertimbangan tersebut, faktor lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali dipilih sebagai salah satu faktor yang dianalisis dalam penelitian ini, karena memiliki keterkaitan langsung dengan kondisi area kerja pada proyek *erection girder* yang berada di jalan aktif.

3. Faktor Teknis

Faktor teknis merupakan salah satu aspek yang dapat memengaruhi tingkat keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Berdasarkan *Domino Theory*, kecelakaan kerja terjadi akibat rangkaian sebab akibat yang saling berkaitan. Salah satu faktor yang dapat memicu kecelakaan adalah kondisi tidak aman (*unsafe condition*), yang dapat berasal dari faktor teknis seperti kondisi peralatan, metode kerja, maupun sistem operasional yang tidak berjalan dengan baik. Oleh karena itu, faktor teknis dapat menjadi salah satu penyebab terjadinya kecelakaan kerja apabila tidak dikendalikan dengan baik. Berdasarkan berbagai studi literatur, berikut beberapa faktor Teknis yang dapat menyebabkan potensi pekerja terjatuh dari ketinggian pada pekerjaan *erection girder*.

1) Peralatan Belum Layak Digunakan

Faktor pertama yang signifikan adalah penggunaan peralatan yang belum layak atau tidak memenuhi standar keselamatan. Peralatan kerja

seperti *crane, sling, shackle, wire rope*, dan peralatan rigging lainnya merupakan komponen vital dalam pekerjaan *erection girder*. Kondisi peralatan yang tidak layak dapat meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan kerja karena peralatan tersebut tidak mampu berfungsi secara optimal selama proses pekerjaan berlangsung. Penelitian oleh Ricky (2018) mengidentifikasi bahwa faktor peralatan merupakan salah satu dari tiga faktor utama yang menjadi penunjang terjadinya kecelakaan pada pemasangan girder, bersama dengan faktor cuaca/alam dan faktor tenaga kerja. Thomas dan Henry (2017) menegaskan bahwa peralatan konstruksi yang rusak, cacat, aus, atau kehilangan bagian dapat membahayakan pekerja, sehingga peralatan harus diperiksa terhadap cacat, kabel aus, bagian rusak, dan cacat lain yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi saat digunakan. Dengan demikian, penggunaan peralatan yang belum layak atau tidak memenuhi standar keselamatan dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada proses *erection girder*, karena kegagalan fungsi peralatan berpotensi membahayakan pekerja yang berada di area kerja.

2) Metode Pelaksanaan tidak sesuai

Faktor berikutnya adalah metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan prosedur standar operasional. Metode pelaksanaan yang tidak sesuai dapat terjadi apabila proses pekerjaan tidak mengikuti standar operasional prosedur, perencanaan kerja yang telah ditetapkan, maupun metode kerja yang direkomendasikan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Kompas.com (2018) secara tegas menyatakan bahwa kecelakaan konstruksi disebabkan oleh belum dipenuhinya standar operasi prosedur atau SOP, terutama dalam hal *erection girder* atau pengangkatan balok. Metode kerja yang tidak sesuai dengan prosedur keselamatan dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan karena pekerja tidak memiliki pedoman kerja yang jelas dalam melaksanakan setiap tahapan pekerjaan konstruksi. Ketidaksesuaian metode pelaksanaan juga dapat menyebabkan koordinasi kerja yang kurang efektif, kesalahan dalam penggunaan

peralatan, serta meningkatnya kemungkinan terjadinya kesalahan manusia (*human error*) di lapangan. engan demikian, metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan prosedur yang telah ditetapkan dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*.

3) Kesalahan Desain atau Perencanaan Teknis

Faktor berikutnya yang ditambahkan adalah kesalahan dalam desain atau perencanaan teknis pekerjaan *erection girder*. Faktor ini mencakup kesalahan dalam perhitungan kapasitas angkat, pemilihan tipe dan kapasitas *crane* yang tidak sesuai, kesalahan dalam penentuan titik angkat, serta tidak mempertimbangkan beban dinamis dan faktor keamanan dalam perencanaan. Kompas.com (2018) melaporkan bahwa dalam investigasi kecelakaan konstruksi, ditemukan berbagai masalah teknis seperti gantungan *crane* yang mengalami pelonggaran, vertikalitas gantungan yang sulit dikontrol, dan *bracing* baja tulangan yang tidak mampu menahan gaya guling. Semua ini menunjukkan adanya kelemahan dalam perencanaan teknis sebelum pelaksanaan pekerjaan. Kesalahan desain juga dapat mencakup pemilihan peralatan yang tidak tepat kapasitasnya, misalnya menggunakan *crane* dengan kapasitas angkat yang tidak mencukupi untuk berat girder yang akan diangkat, atau kesalahan dalam menentukan titik angkat yang menyebabkan distribusi beban tidak merata dan berpotensi menyebabkan girder miring atau jatuh. Berdasarkan hal tersebut, kesalahan dalam desain atau perencanaan teknis dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* apabila tidak dilakukan perencanaan dan pengendalian risiko secara tepat.

4) Ketidakstabilan Struktur Sementara

Faktor kelima adalah ketidakstabilan struktur sementara seperti perancah, *saddle*, atau penyangga sementara yang digunakan selama proses *erection*. Pada pekerjaan konstruksi, penggunaan perancah dan struktur sementara merupakan bagian penting dalam mendukung aktivitas

kerja di ketinggian. Namun demikian, struktur sementara yang tidak stabil dapat menimbulkan kondisi tidak aman (*unsafe condition*) yang meningkatkan risiko kecelakaan kerja seperti pekerja terjatuh dari ketinggian atau tertimpa material konstruksi. Penelitian oleh Mamahit dkk., (2022) menyatakan bahwa penggunaan perancah dalam pekerjaan konstruksi memiliki potensi bahaya yang cukup besar apabila tidak dilakukan pengendalian dan pemeriksaan secara baik, karena semakin kompleks peralatan yang digunakan maka semakin besar pula potensi bahaya serta kecelakaan kerja yang dapat terjadi. engan demikian, ketidakstabilan struktur sementara seperti perancah atau penyangga sementara dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Oleh karena itu, diperlukan perencanaan, pemasangan, serta pemeriksaan struktur sementara secara berkala untuk memastikan bahwa seluruh struktur pendukung berada dalam kondisi stabil dan aman selama proses pekerjaan berlangsung.

5) Kegagalan Sistem Pengangkatan

Faktor kelima adalah kegagalan sistem pengangkatan yang mencakup berbagai aspek teknis dalam proses *lifting girder*. Sistem pengangkatan merupakan rangkaian komponen yang terdiri dari peralatan utama seperti *crane*, *wire rope*, *sling*, *shackle*, serta perangkat *rigging* lainnya yang bekerja secara terintegrasi untuk mengangkat dan memindahkan girder ke posisi yang telah direncanakan. Apabila salah satu komponen dalam sistem pengangkatan mengalami kerusakan, kesalahan pemasangan, atau tidak digunakan sesuai dengan kapasitas dan prosedur yang telah ditentukan, maka dapat menyebabkan kegagalan sistem pengangkatan secara keseluruhan. Kegagalan sistem pengangkatan dapat terjadi akibat beberapa faktor, seperti beban angkat yang melebihi kapasitas peralatan, kesalahan dalam pemasangan *rigging*, kondisi peralatan yang tidak layak digunakan, maupun kurangnya pengawasan selama proses pengangkatan berlangsung. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan girder terlepas dari

sistem pengangkatan, peralatan pengangkat kehilangan keseimbangan, atau bahkan menyebabkan runtuhnya beban yang sedang diangkat. Dengan demikian, kegagalan sistem pengangkatan dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*, karena kegagalan pada sistem ini dapat menyebabkan jatuhnya beban, kerusakan peralatan, serta membahayakan pekerja yang berada di sekitar area pengangkatan.

Selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan metode *design thinking*. Pendekatan *design thinking* digunakan dalam penelitian ini untuk memahami serta menyederhanakan berbagai faktor yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Pendekatan ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu *empathize* dan *define*, yang bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan secara menyeluruh serta mengelompokkan faktor-faktor yang memiliki keterkaitan sehingga diperoleh faktor utama yang paling dominan mempengaruhi keselamatan kerja. Tahap *empathize* merupakan tahap awal dalam pendekatan *design thinking* yang bertujuan untuk memahami kondisi nyata yang terjadi di lapangan. Pada tahap ini dilakukan proses pengamatan terhadap pelaksanaan pekerjaan *erection girder* serta identifikasi berbagai potensi bahaya yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terdapat beberapa faktor yang berpotensi mempengaruhi keselamatan kerja, yaitu penggunaan peralatan yang belum layak digunakan, metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan prosedur standar operasional, kesalahan desain atau perencanaan teknis, ketidakstabilan struktur sementara, serta kegagalan sistem pengangkatan. Faktor-faktor tersebut diperoleh melalui analisis terhadap kondisi pekerjaan, karakteristik aktivitas pengangkatan girder, serta potensi bahaya yang dapat muncul selama proses pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Pada tahap ini, seluruh faktor yang ditemukan dikumpulkan dan dipahami secara menyeluruh tanpa dilakukan penyederhanaan terlebih dahulu, sehingga diperoleh gambaran yang komprehensif mengenai berbagai penyebab yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Setelah seluruh

faktor risiko diidentifikasi pada tahap *empathize*, selanjutnya dilakukan tahap *define* yang bertujuan untuk menganalisis serta mengelompokkan faktor-faktor tersebut berdasarkan keterkaitan karakteristiknya. Pada tahap ini dilakukan proses penyederhanaan terhadap lima faktor yang telah diidentifikasi sebelumnya dengan cara mengelompokkan faktor-faktor yang memiliki hubungan sebab akibat atau keterkaitan dalam proses pekerjaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa faktor memiliki keterkaitan yang kuat satu sama lain. Faktor kegagalan sistem pengangkatan memiliki hubungan langsung dengan kondisi peralatan kerja yang digunakan, karena kegagalan sistem pengangkatan sering kali disebabkan oleh kerusakan atau ketidaksesuaian komponen peralatan seperti *crane*, *wire rope*, *slings*, dan perangkat *rigging* lainnya. Oleh karena itu, faktor kegagalan sistem pengangkatan dapat dikelompokkan ke dalam faktor peralatan belum layak digunakan. Sementara itu, faktor kesalahan desain atau perencanaan teknis serta ketidakstabilan struktur sementara memiliki keterkaitan dengan cara pekerjaan direncanakan dan dilaksanakan di lapangan. Kedua faktor tersebut berkaitan dengan metode kerja yang digunakan dalam proses pelaksanaan pekerjaan *erection girder*. Apabila metode pelaksanaan tidak direncanakan atau diterapkan dengan baik, maka dapat terjadi kesalahan dalam perencanaan teknis maupun ketidakstabilan struktur sementara yang digunakan selama pekerjaan berlangsung. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dapat dikelompokkan ke dalam faktor metode pelaksanaan tidak sesuai. Berdasarkan hasil analisis menggunakan pendekatan *design thinking* melalui tahapan *empathize* dan *define*, berbagai faktor yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* dapat disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling dominan. Tahap *empathize* menghasilkan lima faktor awal yang berkaitan dengan kondisi peralatan, metode pelaksanaan, perencanaan teknis, stabilitas struktur sementara, dan sistem pengangkatan. Selanjutnya pada tahap *define*, faktor-faktor tersebut dikelompokkan berdasarkan keterkaitannya, sehingga kegagalan sistem pengangkatan dimasukkan ke dalam faktor peralatan belum layak digunakan, sedangkan kesalahan desain atau

perencanaan teknis serta ketidakstabilan struktur sementara dikelompokkan ke dalam faktor metode pelaksanaan tidak sesuai. Dengan demikian, kedua faktor tersebut menjadi faktor utama yang paling berpengaruh terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

- a) Peralatan kerja merupakan salah satu komponen penting dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi, terutama pada pekerjaan *erection girder* yang melibatkan penggunaan alat berat seperti crane dan peralatan pengangkatan lainnya. Kondisi peralatan yang tidak layak digunakan dapat meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan kerja karena peralatan tersebut tidak mampu berfungsi secara optimal selama proses pekerjaan berlangsung. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi peralatan belum layak digunakan antara lain sebagai berikut:
 - Uji riksa merupakan proses pemeriksaan dan pengujian terhadap peralatan kerja untuk memastikan bahwa peralatan tersebut masih layak digunakan serta memenuhi standar keselamatan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, berbagai peralatan seperti *crane*, *slings*, *shackles*, dan *wire ropes* memiliki peran penting dalam proses pengangkatan material dengan beban yang besar. Apabila peralatan tersebut belum melalui proses uji riksa secara berkala, maka kondisi teknis peralatan tidak dapat dipastikan kelayakannya sehingga berpotensi mengalami kegagalan fungsi saat digunakan. Kegagalan peralatan pengangkatan dapat menyebabkan beban jatuh atau kehilangan kendali selama proses pengangkatan berlangsung sehingga dapat membahayakan pekerja yang berada di sekitar area kerja.

- Peralatan mengalami keausan, peralatan kerja yang telah digunakan dalam jangka waktu yang lama berpotensi mengalami keausan maupun kerusakan pada beberapa komponennya. peralatan konstruksi yang mengalami kerusakan, keausan, atau kehilangan bagian tertentu dapat meningkatkan potensi bahaya bagi pekerja karena dapat menyebabkan kegagalan fungsi saat proses pekerjaan berlangsung (Thomas dan Law, 2017).
- Faktor lain yang dapat memengaruhi keselamatan kerja adalah ketidaksesuaian antara kapasitas peralatan yang digunakan dengan beban kerja yang harus ditangani. Pada pekerjaan *erection girder*, material girder memiliki ukuran dan berat yang cukup besar sehingga membutuhkan peralatan dengan kapasitas angkat yang sesuai. Apabila peralatan yang digunakan tidak memiliki kapasitas yang memadai, maka peralatan tersebut dapat mengalami kelebihan beban (*overload*) yang berpotensi menyebabkan kerusakan peralatan atau bahkan kegagalan struktur peralatan pengangkat.

erdasarkan pendekatan *design thinking*, penyederhanaan faktor dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai kondisi peralatan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* melalui kajian literatur serta pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan pengangkatan material menggunakan alat berat. Dari proses tersebut ditemukan beberapa faktor yang berkaitan dengan kondisi peralatan, seperti peralatan yang mengalami kerusakan atau keausan, ketidaksesuaian kapasitas peralatan dengan beban kerja, serta peralatan yang belum melalui proses pemeriksaan kelayakan. Selanjutnya pada tahap *define*, dilakukan proses penyederhanaan dengan mengelompokkan faktor-faktor tersebut ke dalam satu faktor utama yang memiliki keterkaitan langsung dengan kondisi kelayakan

peralatan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, faktor alat belum uji riksa dipilih sebagai faktor utama karena proses uji riksa merupakan mekanisme pemeriksaan yang dapat mengidentifikasi berbagai permasalahan teknis pada peralatan, termasuk kerusakan, keausan, maupun ketidaksesuaian fungsi peralatan sebelum digunakan dalam pekerjaan. Dengan demikian, faktor ini dinilai mampu merepresentasikan berbagai kondisi ketidaklayakan peralatan yang berpotensi menyebabkan kegagalan fungsi selama proses *erection girder*. Uji riksa merupakan proses pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa peralatan kerja berada dalam kondisi aman dan memenuhi standar keselamatan sebelum digunakan dalam kegiatan operasional. Uji riksa alat (alat uji dan pemeriksaan periodik) sangat penting untuk mendeteksi cacat tersembunyi pada peralatan konstruksi seperti crane, forklift, atau scaffolding, sehingga secara signifikan mengurangi potensi kecelakaan kerja akibat kegagalan struktural atau mekanis (Imron dkk., 2023). Apabila peralatan belum dilakukan uji riksa, maka kondisi teknis dari peralatan tersebut belum dapat dipastikan kelayakannya sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan fungsi saat digunakan. Pada pekerjaan *erection girder*, kegagalan fungsi peralatan seperti crane atau alat pengangkat lainnya dapat menyebabkan material yang sedang diangkat menjadi tidak stabil atau bahkan terjatuh. Kondisi tersebut tentu dapat membahayakan pekerja yang berada di sekitar area kerja. Oleh karena itu, peralatan yang belum layak digunakan akibat belum dilakukan uji riksa dipilih sebagai salah satu faktor teknis yang dianalisis dalam penelitian ini.

- b) Metode pelaksanaan yang tidak sesuai prosedur standar (*non-standard work methods*) merupakan salah satu faktor teknis paling berbahaya dalam proyek konstruksi karena dapat menyebabkan ketidakstabilan struktur, kegagalan peralatan, dan kecelakaan fatal (Azzakiyah dkk., 2025). Metode pelaksanaan yang tidak sesuai dapat terjadi apabila

proses pekerjaan tidak mengikuti standar operasional prosedur (SOP), perencanaan kerja yang telah ditetapkan, maupun metode kerja yang direkomendasikan dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi. Dalam pekerjaan *erection girder*, metode pelaksanaan memiliki peran yang sangat penting karena proses pekerjaan melibatkan pengangkatan struktur beton dengan berat yang besar menggunakan alat berat seperti crane. Proses pengangkatan dan pemasangan girder memerlukan tahapan kerja yang tepat, mulai dari penentuan titik pengangkatan, pengaturan posisi crane, proses *lifting* girder, penempatan girder, hingga *bracing* pada posisi yang telah direncanakan. Dalam penelitian ini, faktor metode pelaksanaan tidak sesuai dipilih sebagai salah satu faktor teknis yang dianalisis, karena memiliki keterkaitan langsung dengan proses pekerjaan *erection girder*. Apabila metode pelaksanaan tidak dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah direncanakan, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* akan semakin meningkat. Oleh karena itu, faktor metode pelaksanaan tidak sesuai dipertimbangkan sebagai salah satu penyebab yang dapat memicu terjadinya kecelakaan kerja dalam penelitian ini.

4. Faktor Manajemen K3

Faktor manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu aspek penting yang dapat memengaruhi tingkat keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Manajemen K3 berkaitan dengan bagaimana suatu organisasi atau proyek mengelola sistem keselamatan kerja melalui perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, serta evaluasi terhadap kegiatan pekerjaan yang dilakukan. Faktor manajemen K3 yang lemah merupakan penyebab utama kecelakaan kerja di sektor konstruksi Indonesia karena mencakup pengawasan tidak memadai, kurangnya pelatihan, dan implementasi prosedur yang buruk, yang sering kali memperparah faktor manusia dan lingkungan lainnya (Andriani dkk., 2022). Berdasarkan berbagai studi literatur, berikut beberapa faktor Manajemen K3 yang dapat menyebabkan potensi pekerja terjatuh dari ketinggian pada pekerjaan *erection girder*.

1) Minimnya Pengawasan dan Kesadaran

Minimnya pengawasan serta rendahnya kesadaran pekerja terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu faktor yang dapat meningkatkan risiko terjadinya kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Pengawasan yang kurang optimal dapat menyebabkan berbagai potensi bahaya di lapangan tidak teridentifikasi maupun tidak ditangani secara tepat. Dalam pekerjaan konstruksi yang memiliki tingkat risiko tinggi seperti proses *erection girder*, pengawasan yang baik sangat diperlukan untuk memastikan bahwa seluruh aktivitas pekerjaan telah dilaksanakan sesuai dengan prosedur keselamatan yang telah ditetapkan. Kurangnya pengawasan dapat menyebabkan pekerja tidak mematuhi standar operasional prosedur, tidak menggunakan alat pelindung diri secara lengkap, serta mengabaikan langkah-langkah keselamatan kerja yang seharusnya diterapkan selama proses pekerjaan berlangsung. Juliana dkk., (2023) menyatakan bahwa kedisiplinan pekerja dalam menerapkan keselamatan kerja di proyek konstruksi masih tergolong rendah, terutama dalam penggunaan alat pelindung diri dan kepatuhan terhadap aturan K3, sehingga risiko terjadinya kecelakaan kerja menjadi lebih tinggi. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa minimnya pengawasan serta rendahnya kesadaran keselamatan kerja merupakan faktor penting yang dapat mempengaruhi tingkat keselamatan dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan pengawasan, pelatihan keselamatan kerja, serta penerapan budaya K3 yang lebih baik untuk meminimalkan potensi terjadinya kecelakaan kerja di lokasi proyek.

2) Ketidaksesuaian Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)

Faktor ketiga adalah ketidaksesuaian penggunaan APD dengan standar keselamatan. Budiman dkk. (2025) menyatakan bahwa APD standar menjadi elemen kunci pencegahan kecelakaan karena kepatuhan dan ketersediaan APD paling krusial di antara lima faktor utama (kepatuhan, pelatihan, kecelakaan, pengawasan, ketersediaan). Ketidaksesuaian penggunaan APD dapat terjadi dalam berbagai bentuk, seperti pekerja

tidak menggunakan APD secara lengkap, penggunaan APD yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan, maupun penggunaan APD yang tidak memenuhi standar keselamatan. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja karena pekerja tidak memiliki perlindungan yang memadai terhadap potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja. Selain itu, rendahnya kepatuhan pekerja dalam menggunakan APD sering kali dipengaruhi oleh kurangnya pengawasan, kurangnya pemahaman terhadap pentingnya keselamatan kerja, serta keterbatasan ketersediaan APD di lokasi proyek. Berdasarkan hal tersebut, ketidaksesuaian penggunaan APD dengan standar keselamatan dapat menjadi salah satu faktor yang berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Oleh karena itu, diperlukan upaya peningkatan kepatuhan pekerja dalam menggunakan APD, penyediaan APD yang memadai, serta pengawasan yang lebih ketat agar seluruh pekerja dapat bekerja dengan aman sesuai dengan standar keselamatan kerja yang berlaku.

3) Lemahnya Koordinasi dan Komunikasi Antar Tim

Faktor ketiga adalah lemahnya koordinasi dan komunikasi antara manajemen proyek, pengawas, dan pekerja. Kurangnya koordinasi menyebabkan informasi terkait prosedur keselamatan tidak tersampaikan dengan baik. *Toolbox meeting* sebelum pekerjaan dimulai terbukti efektif meningkatkan kesadaran pekerja, namun sering kali tidak dilaksanakan secara konsisten (Aprilia dan Ramadhan, 2021). Kondisi ini menunjukkan bahwa ketidakselarasan komunikasi antar tim tidak hanya memengaruhi pemahaman pekerja, tetapi juga berdampak pada penerapan praktik keselamatan secara menyeluruh di lapangan. Dengan koordinasi yang lemah, instruksi penting terkait prosedur kerja aman dapat terlewat, sementara informasi risiko dan mitigasinya tidak tersampaikan secara tepat waktu, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Oleh karena itu, penguatan komunikasi formal dan informal, serta penjadwalan *toolbox meeting* secara rutin dan disiplin, menjadi strategi

penting untuk mengurangi risiko dan meningkatkan efektivitas keselamatan kerja di proyek konstruksi.

4) Ketidakterediaan atau Ketidaksesuaian Alat Pengaman Kerja (APK)

Faktor keempat adalah tidak tersedianya APK yang memadai atau ketidaksesuaian APK dengan kebutuhan di lapangan. Dalam praktik di lapangan, ketidakterediaan APK dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kurangnya perencanaan pengadaan peralatan keselamatan, keterbatasan anggaran proyek, serta lemahnya pengawasan terhadap penerapan standar keselamatan kerja. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian pekerja tidak menggunakan alat pelindung secara lengkap atau bahkan bekerja tanpa perlindungan yang memadai. Padahal, penggunaan alat pengaman kerja merupakan salah satu upaya penting dalam meminimalkan risiko kecelakaan pada pekerjaan konstruksi yang memiliki tingkat bahaya relatif tinggi. Selain ketersediaan, kesesuaian alat pengaman kerja dengan jenis pekerjaan juga menjadi aspek yang sangat penting. APK yang tidak sesuai standar atau tidak dirancang untuk jenis pekerjaan tertentu dapat mengurangi efektivitas perlindungan yang diberikan kepada pekerja. Penelitian mengenai penerapan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada sektor konstruksi menunjukkan bahwa ketersediaan alat pelindung diri dan kepatuhan penggunaannya merupakan faktor penting yang memengaruhi tingkat keselamatan kerja di proyek. Kurangnya penyediaan alat keselamatan, minimnya pelatihan, serta lemahnya pengawasan dapat menyebabkan pekerja tidak menggunakan perlengkapan keselamatan secara optimal sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja (Tsanyan dkk., 2024). Dengan demikian, ketersediaan dan kesesuaian alat pengaman kerja menjadi faktor penting dalam sistem manajemen keselamatan kerja di proyek konstruksi. Penyediaan APK yang memadai, sesuai standar, serta disertai pengawasan yang baik dapat membantu mengurangi potensi bahaya dan meningkatkan perlindungan terhadap pekerja di lingkungan proyek.

Dalam pendekatan *design thinking*, proses analisis permasalahan keselamatan kerja dilakukan melalui beberapa tahapan awal, yaitu *empathize* dan *define*, yang bertujuan untuk memahami kondisi nyata di lapangan serta merumuskan inti permasalahan yang paling relevan terhadap risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Pada tahap *empathize*, peneliti berupaya memahami kondisi dan permasalahan yang terjadi di lapangan dengan mengidentifikasi berbagai faktor yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Proses ini dilakukan melalui pengamatan terhadap aktivitas pekerjaan, identifikasi potensi bahaya, serta penelaahan terhadap faktor-faktor yang memengaruhi penerapan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di proyek konstruksi. Berdasarkan hasil identifikasi tersebut, ditemukan beberapa faktor yang dapat berkontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja, yaitu minimnya pengawasan dan kesadaran pekerja terhadap keselamatan kerja, ketidaksesuaian penggunaan alat pelindung diri (APD), lemahnya koordinasi dan komunikasi antar tim, serta ketidaktersediaan atau ketidaksesuaian alat pengaman kerja (APK). Faktor-faktor tersebut menunjukkan bahwa permasalahan keselamatan kerja tidak hanya berkaitan dengan aspek teknis, tetapi juga dipengaruhi oleh faktor perilaku pekerja, sistem pengawasan, komunikasi kerja, serta ketersediaan fasilitas keselamatan di lingkungan proyek. Selanjutnya pada tahap *define*, dilakukan proses analisis untuk mengelompokkan dan merumuskan inti permasalahan dari faktor-faktor yang telah diidentifikasi pada tahap sebelumnya. Analisis ini bertujuan untuk menyederhanakan berbagai faktor yang saling berkaitan sehingga dapat diperoleh faktor utama yang lebih representatif terhadap penyebab terjadinya kecelakaan kerja. Berdasarkan keterkaitan antar faktor, ditemukan bahwa minimnya pengawasan memiliki hubungan yang erat dengan rendahnya kesadaran pekerja serta lemahnya koordinasi dan komunikasi antar tim. Ketiga aspek tersebut berkaitan dengan sistem manajemen keselamatan kerja dan budaya keselamatan di lingkungan proyek, sehingga dapat dirumuskan menjadi satu faktor utama yaitu minimnya pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja. Sementara itu, faktor ketidaksesuaian penggunaan alat

pelindung diri memiliki keterkaitan dengan ketidaktersediaan atau ketidaksesuaian alat pengaman kerja, karena keduanya sama-sama berkaitan dengan sistem perlindungan pekerja terhadap potensi bahaya kerja. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dirumuskan menjadi satu faktor utama yaitu ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK. Melalui proses *empathize* dan *define* dalam pendekatan *design thinking*, berbagai faktor penyebab kecelakaan kerja yang awalnya teridentifikasi secara terpisah dapat dianalisis secara lebih sistematis dan disederhanakan menjadi dua faktor utama. Proses ini membantu dalam memahami akar permasalahan keselamatan kerja secara lebih komprehensif sehingga dapat menjadi dasar dalam merumuskan solusi atau strategi pengendalian risiko yang lebih efektif pada tahap selanjutnya. Dengan demikian, kedua faktor tersebut menjadi faktor utama yang paling berpengaruh terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

- a) Pengawasan merupakan salah satu fungsi penting dalam penerapan manajemen K3 di lingkungan proyek konstruksi. Pengawasan yang baik bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh pekerja melaksanakan pekerjaan sesuai dengan prosedur keselamatan kerja yang telah ditetapkan. Minimnya pengawasan dan kesadaran dalam penerapan manajemen K3 (Keselamatan dan Kesehatan Kerja) dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain:
 - Kurangnya koordinasi antara manajemen proyek, pengawas lapangan, serta pekerja dapat menyebabkan informasi terkait prosedur keselamatan tidak tersampaikan dengan baik kepada seluruh pihak yang terlibat. Koordinasi yang tidak efektif sering kali menyebabkan pekerja tidak mendapatkan arahan keselamatan secara jelas sebelum pekerjaan dimulai.

- Rendahnya tingkat disiplin pekerja dalam mematuhi prosedur keselamatan kerja juga menjadi salah satu faktor penting yang memengaruhi efektivitas penerapan K3 di lingkungan proyek. Pekerja yang tidak disiplin sering kali mengabaikan penggunaan alat pelindung diri (APD) ataupun tidak mengikuti prosedur kerja yang telah ditetapkan. Kondisi ini dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja karena pekerja tidak memiliki perlindungan yang memadai saat melakukan aktivitas kerja yang berisiko.
- Pengawasan yang tidak dilakukan secara rutin dapat menyebabkan pelaksanaan prosedur keselamatan kerja di lapangan tidak berjalan dengan baik. Apabila pengawasan tidak dilakukan secara berkala, maka potensi pelanggaran terhadap prosedur keselamatan kerja dapat meningkat karena pekerja tidak mendapatkan kontrol maupun arahan secara langsung selama proses pekerjaan berlangsung.
- Kurangnya sosialisasi maupun pelatihan mengenai keselamatan dan kesehatan kerja juga dapat memengaruhi tingkat kesadaran pekerja terhadap pentingnya penerapan K3 di lingkungan proyek. Pelatihan K3 bertujuan untuk meningkatkan pemahaman pekerja mengenai potensi bahaya di tempat kerja serta cara melakukan pekerjaan secara aman.

Dari berbagai faktor tersebut, faktor yang dipilih dalam pembahasan ini adalah kurangnya koordinasi dan rendahnya disiplin pekerja. Kedua faktor ini dipilih karena memiliki pengaruh yang paling langsung terhadap tingkat pengawasan dan kesadaran terhadap K3 di lapangan. Kurangnya koordinasi dapat menyebabkan informasi terkait prosedur keselamatan tidak tersampaikan dengan baik kepada seluruh pihak yang terlibat. Misalnya, pengawas lapangan tidak memberikan arahan keselamatan secara jelas kepada pekerja sebelum pekerjaan dimulai, atau tidak adanya komunikasi yang efektif antara manajemen proyek

dan tim di lapangan mengenai standar keselamatan yang harus diterapkan. Kondisi ini membuat pengawasan terhadap penerapan K3 menjadi kurang optimal. Selain itu, tidak disiplin juga menjadi penyebab penting minimnya kesadaran terhadap keselamatan kerja. Dari hasil kajian ditemukan bahwa tingkat kedisiplinan pekerja dalam menggunakan APD memiliki kaitan erat dengan jumlah maupun tingkat keparahan insiden kecelakaan di tempat kerja. Dalam sektor konstruksi, ketidakpatuhan terhadap standar keselamatan kerap menjadi penyebab dominan kecelakaan, yang sebetulnya dapat dicegah apabila penggunaan APD dilakukan secara konsisten dan benar. Dengan demikian, kurangnya koordinasi dan rendahnya disiplin pekerja dipilih sebagai faktor utama karena keduanya sangat mempengaruhi efektivitas pengawasan serta tingkat kesadaran pekerja terhadap pentingnya penerapan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan proyek.

- b) Selain pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja, penggunaan alat pelindung diri (APD) dan alat pengaman kerja (APK) juga merupakan bagian penting dari penerapan manajemen K3 pada proyek konstruksi. APD dan APK berfungsi untuk melindungi pekerja dari berbagai potensi bahaya yang dapat terjadi selama proses pekerjaan berlangsung. Ketidaksihesuaian dalam penggunaan APD dan APK dapat terjadi apabila pekerja tidak menggunakan APD yang telah ditentukan, menggunakan APD yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan, maupun menggunakan APD yang tidak dalam kondisi baik. Dalam penelitian ini, ketidaksihesuaian penggunaan APD dan APK ditentukan melalui dua *basic event*, yaitu APD tidak sesuai standar serta APK tidak sesuai atau tidak tersedia di lokasi kerja. Penentuan *basic event* tersebut didasarkan pada kondisi yang sering terjadi di lapangan, di mana pekerja menggunakan APD yang tidak memenuhi standar keselamatan, seperti helm keselamatan yang tidak memenuhi standar, sepatu pelindung yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan, atau penggunaan APD yang tidak

lengkap. Kondisi ini dapat mengurangi efektivitas perlindungan terhadap risiko kecelakaan kerja. Menurut Budiman dkk., (2025), APD standar menjadi elemen kunci pencegahan kecelakaan karena kepatuhan dan ketersediaan APD paling krusial di antara lima faktor utama (kepatuhan, pelatihan, kecelakaan, pengawasan, ketersediaan). Selain itu, *basic event* lainnya adalah APK tidak sesuai atau tidak tersedia. Ketidaksesuaian atau ketiadaan APK ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja karena pekerja tidak mendapatkan perlindungan tambahan dari bahaya yang ada di lingkungan kerja. Permasalahan ini juga berkaitan dengan tingkat disiplin pekerja dalam mematuhi aturan keselamatan kerja serta pengawasan dari pihak manajemen proyek. Penelitian menunjukkan bahwa disiplin kerja memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap pelaksanaan keselamatan dan kesehatan kerja serta kinerja karyawan. Oleh karena itu, apabila pekerja memiliki tingkat disiplin yang rendah dalam menggunakan APD serta pengawasan terhadap penggunaan APK kurang optimal, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja akan semakin meningkat.

B. Pekerja Tertimpa Girder

Pada analisis risiko kecelakaan kerja dengan *top event* pekerja tertimpa girder, struktur penyebab kejadian yang diidentifikasi melalui metode *Fault Tree Analysis (FTA)* pada dasarnya memiliki kesamaan dengan analisis sebelumnya pada kejadian pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal ini terlihat dari sebagian besar *basic event* dan *intermediate event* yang muncul memiliki karakteristik serta hubungan penyebab yang relatif sama. Namun demikian, terdapat perbedaan pada salah satu *basic event* yang berada pada faktor metode pelaksanaan tidak sesuai, yaitu terkait dengan tidak adanya standar operasional prosedur (SOP) dalam pelaksanaan pekerjaan. Pada analisis pekerja tertimpa girder, tidak adanya SOP pekerjaan menjadi salah satu faktor penting yang dapat meningkatkan risiko jatuhnya girder selama proses pengangkatan maupun pemasangan, sehingga berpotensi menyebabkan pekerja tertimpa material tersebut. Meskipun terdapat perbedaan pada salah satu *basic event*,

secara umum faktor-faktor penyebab yang teridentifikasi tetap akan dijelaskan sebagaimana pada pembahasan sebelumnya. Penjelasan terhadap setiap faktor akan disesuaikan dengan konteks peristiwa kecelakaan pada bagian ini, yaitu pekerja tertimpa girder, sehingga hubungan antara faktor penyebab dengan potensi terjadinya kecelakaan kerja dapat dijelaskan secara lebih spesifik dan relevan dengan kondisi kejadian yang dianalisis.

1. Faktor Manusia

Faktor manusia dipilih sebagai salah satu faktor utama karena pekerjaan *erection girder* sangat bergantung pada aktivitas tenaga kerja yang terlibat secara langsung dalam proses pengangkatan, pengarahannya, dan pemasangan girder di lapangan. Sulistyanyingtyas (2021) menyatakan bahwa faktor manusia merupakan faktor yang paling dominan dalam menyebabkan kecelakaan kerja pada sektor konstruksi dibandingkan faktor lainnya, yang sebagian besar disebabkan oleh tindakan tidak aman (*unsafe action*) yang dilakukan oleh pekerja. Pada pekerjaan *erection girder*, pekerja sering berada di sekitar area pengangkatan dan pemasangan girder yang memiliki risiko tinggi terhadap jatuhnya material atau kegagalan proses pengangkatan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pekerja berada pada area berbahaya sehingga berpotensi tertimpa girder apabila terjadi kesalahan dalam proses pekerjaan. Berikut beberapa faktor manusia yang dapat menyebabkan potensi pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*.

1) Kurangnya Pengetahuan Terhadap Prosedur Kerja Aman

Kurangnya pemahaman pekerja mengenai prosedur kerja pada saat pemasangan girder dapat meningkatkan risiko kecelakaan. Pekerja yang tidak memahami tahapan pekerjaan, zona aman, serta potensi bahaya saat bekerja di area pengangkatan dan pemasangan girder cenderung melakukan tindakan yang berisiko. Kondisi ini dapat menyebabkan pekerja berada pada posisi yang tidak aman di sekitar area pengangkatan girder sehingga meningkatkan kemungkinan pekerja tertimpa material girder apabila terjadi kesalahan proses pengangkatan atau pergeseran beban. Sumber penyebab risiko kecelakaan disebabkan oleh tiga faktor,

yaitu faktor manusia, faktor peralatan/material, dan faktor lingkungan, di mana kurangnya pemahaman prosedur menjadi bagian dari faktor manusia utama pada *erection girder* (Damayanti, 2021).

2) Kurangnya Keterampilan

Pekerjaan *erection girder* membutuhkan keterampilan khusus, terutama dalam proses pengangkatan, pengaturan posisi girder, serta koordinasi dengan operator alat berat. Pekerja yang belum memiliki kompetensi yang memadai biasanya mengalami kesulitan dalam memahami teknik rigging, mengarahkan posisi girder, serta menjaga jarak aman dari material yang sedang diangkat. Ketidakmampuan tersebut dapat meningkatkan potensi kesalahan dalam proses pengangkatan yang berujung pada kecelakaan tertimpa girder. Berdasarkan Taufiq (2023), dalam analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* pada pekerjaan *erection girder* proyek overpass tol Pasuruan–Probolinggo, penelitian tersebut menunjukkan bahwa kurangnya keterampilan dan pengetahuan pekerja merupakan penyebab dominan terjadinya kegagalan struktural girder ambruk, dengan kontribusi sebesar 72,5% yang berasal dari kesalahan proses rigging. Temuan tersebut menunjukkan bahwa kompetensi pekerja dalam memahami prosedur kerja dan penggunaan peralatan pengangkatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat keselamatan kerja, sehingga faktor kurangnya keterampilan relevan untuk digunakan sebagai salah satu faktor utama dalam penelitian ini.

3) Tidak Fokus

Kurangnya fokus saat bekerja merupakan faktor manusia yang cukup sering terjadi pada pekerjaan konstruksi. Kondisi ini dapat disebabkan oleh gangguan lingkungan kerja, percakapan dengan pekerja lain, tekanan pekerjaan, atau kelelahan. Ketika pekerja tidak memberikan perhatian penuh terhadap aktivitas yang sedang dilakukan, kemungkinan terjadinya kesalahan dalam mengamati pergerakan girder yang sedang diangkat atau perubahan posisi beban menjadi lebih besar. Dalam pekerjaan konstruksi, kondisi kurangnya konsentrasi sering dikategorikan sebagai tindakan tidak

aman (*unsafe action*) yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Penelitian menunjukkan bahwa tindakan tidak aman yang dilakukan pekerja menjadi salah satu faktor dominan penyebab kecelakaan kerja di sektor konstruksi, karena pekerja tidak menjalankan aktivitas kerja dengan perhatian dan kehati-hatian yang memadai (Mayandari dan Inayah, 2023).

4) Kelelahan Fisik

Kelelahan dapat terjadi akibat jam kerja yang panjang, pekerjaan yang bersifat fisik, maupun pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Kondisi kelelahan dapat menurunkan konsentrasi, memperlambat respon tubuh, serta mengurangi kemampuan pekerja dalam merespons kondisi darurat di area kerja. Dalam pekerjaan erection girder, pekerja dituntut untuk selalu memperhatikan pergerakan material yang sedang diangkat oleh alat berat. Apabila pekerja mengalami kelelahan, maka kemampuan untuk mengantisipasi bahaya seperti pergeseran beban atau kegagalan pengangkatan dapat menurun, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan kerja berupa tertimpa girder. Dalam sektor konstruksi, kelelahan kerja sering muncul akibat tingginya tuntutan fisik pekerjaan dan durasi kerja yang panjang sehingga mempengaruhi kondisi fisik maupun mental pekerja.

5) Kurangnya Kesadaran Keselamatan (*safety awareness*)

Kesadaran terhadap pentingnya keselamatan kerja sangat mempengaruhi perilaku pekerja di lapangan. Pekerja yang memiliki tingkat kesadaran keselamatan yang rendah cenderung mengabaikan potensi bahaya yang ada di lingkungan kerja. Kondisi ini dapat menyebabkan pekerja tidak memperhatikan zona aman di sekitar area pengangkatan girder maupun penggunaan alat pelindung diri secara benar. Dalam sektor konstruksi, rendahnya kesadaran keselamatan sering dikaitkan dengan meningkatnya perilaku tidak aman yang berpotensi menimbulkan kecelakaan kerja. Tingkat *safety awareness* yang rendah pada pekerja berpengaruh terhadap kepatuhan pekerja dalam menerapkan prosedur keselamatan kerja serta penggunaan alat pelindung diri (Sari dan Widajati, 2017). Oleh karena itu,

peningkatan kesadaran keselamatan melalui pelatihan, pengawasan, dan penerapan budaya keselamatan kerja menjadi langkah penting dalam upaya pencegahan kecelakaan kerja.

Berdasarkan hasil identifikasi faktor manusia yang berpotensi menyebabkan kecelakaan pada pekerjaan *erection girder*, diperoleh enam faktor, yaitu kurangnya pengetahuan terhadap prosedur kerja aman, kurangnya keterampilan, tidak fokus, kelelahan fisik, sikap mengabaikan prosedur keselamatan, serta kurangnya kesadaran keselamatan. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *Design Thinking* untuk menyederhanakan berbagai faktor tersebut sehingga dapat ditemukan faktor utama yang paling berpengaruh terhadap potensi kecelakaan kerja, khususnya kecelakaan yang dapat menyebabkan pekerja tertimpa girder pada saat proses pengangkatan maupun pemasangan girder. Melalui tahapan *empathize*, peneliti berupaya memahami kondisi dan perilaku pekerja di lapangan yang berpotensi menimbulkan risiko kecelakaan, terutama yang berkaitan dengan interaksi pekerja terhadap proses pengangkatan girder serta posisi pekerja di sekitar area kerja. Selanjutnya pada tahap *define*, peneliti mengidentifikasi keterkaitan antar faktor yang telah ditemukan untuk menentukan akar permasalahan yang paling dominan. Dengan menggunakan pendekatan ini, faktor-faktor yang memiliki hubungan atau kesamaan karakteristik dapat dikelompokkan menjadi faktor yang lebih mendasar sehingga mempermudah proses analisis serta perumusan solusi keselamatan kerja yang lebih tepat sasaran. Dari proses analisis tersebut terlihat bahwa beberapa faktor memiliki keterkaitan yang kuat dan dapat dikelompokkan ke dalam penyebab yang lebih mendasar. Faktor kurangnya pengetahuan terhadap prosedur kerja aman, sikap mengabaikan prosedur keselamatan, serta kurangnya kesadaran keselamatan (*safety awareness*) memiliki keterkaitan yang erat dengan kemampuan dan kompetensi pekerja dalam memahami serta menerapkan prosedur kerja yang benar, terutama dalam proses pengangkatan dan penempatan girder menggunakan alat berat. Ketiga faktor tersebut menunjukkan bahwa pekerja belum memiliki pemahaman dan keterampilan yang memadai dalam

menjalankan pekerjaan *erection girder* yang memiliki tingkat risiko tinggi, khususnya risiko tertimpa material girder yang sedang diangkat atau diposisikan. Kondisi ini sejalan dengan penelitian Taufiq (2023) yang menyatakan bahwa kurangnya keterampilan dan pengetahuan pekerja menjadi penyebab dominan dalam kegagalan pekerjaan *erection girder* dengan kontribusi sebesar 72,5% pada kesalahan proses *rigging*. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut dapat digabungkan dan direpresentasikan ke dalam satu faktor utama yaitu kurangnya keterampilan, yang mencerminkan keterbatasan kompetensi pekerja dalam memahami prosedur kerja, menggunakan peralatan pengangkatan dengan benar, serta menjaga posisi kerja yang aman di sekitar area pengangkatan girder. Sementara itu, faktor kelelahan fisik dan tidak fokus memiliki hubungan yang erat dengan kondisi psikologis serta tingkat konsentrasi pekerja saat melakukan aktivitas kerja. Kelelahan yang disebabkan oleh jam kerja yang panjang atau pekerjaan fisik yang berat dapat menurunkan tingkat kewaspadaan serta memperlambat respon pekerja terhadap potensi bahaya di area kerja. Dalam pekerjaan *erection girder*, pekerja dituntut untuk selalu memperhatikan pergerakan girder yang sedang diangkat serta menjaga jarak aman dari zona pengangkatan. Apabila pekerja mengalami kelelahan atau kehilangan fokus, maka kemampuan untuk mengantisipasi bahaya seperti pergerakan atau ketidakstabilan girder dapat menurun sehingga meningkatkan potensi kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dapat dikelompokkan ke dalam faktor utama tidak fokus. Berdasarkan proses analisis tersebut, enam faktor yang telah diidentifikasi dapat disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling merepresentasikan akar permasalahan pada pekerjaan *erection girder*, yaitu kurangnya keterampilan dan tidak fokus, yang selanjutnya dianalisis lebih lanjut sebagai faktor yang berpengaruh terhadap potensi kecelakaan pekerja tertimpa girder.

- a) Kurangnya keterampilan dipilih sebagai salah satu *intermediate event* karena pekerjaan *erection girder* memerlukan kemampuan teknis tertentu, terutama dalam proses pengangkatan, pengaturan posisi, serta pengamanan material girder yang memiliki ukuran dan berat yang

sangat besar. Pekerja yang tidak memiliki keterampilan yang memadai berpotensi melakukan kesalahan dalam proses pekerjaan *erection girder*, seperti kesalahan dalam proses *rigging*, komunikasi dengan operator crane, maupun dalam menentukan posisi kerja yang aman di sekitar area pengangkatan girder. Kesalahan tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja, termasuk risiko pekerja tertimpa girder apabila terjadi ketidakstabilan material saat proses pengangkatan atau pemasangan berlangsung. Kurangnya keterampilan pekerja dalam pekerjaan konstruksi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor yang berkaitan dengan kemampuan individu maupun proses pembelajaran kerja di lapangan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja antara lain sebagai berikut:

- Kurangnya pendidikan merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi secara aman. Pendidikan berperan dalam membentuk kemampuan pekerja dalam memahami informasi teknis, prosedur kerja, serta instruksi keselamatan yang diberikan di lapangan. Pekerja yang memiliki tingkat pendidikan yang rendah cenderung mengalami kesulitan dalam memahami standar operasional prosedur maupun metode kerja yang aman, termasuk prosedur keselamatan pada saat proses pengangkatan girder menggunakan alat berat. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kesalahan kerja yang berisiko menimbulkan kecelakaan, seperti pekerja berada di area berbahaya saat proses pengangkatan girder berlangsung.
- Selanjutnya tidak adanya pengalaman kerja juga menjadi salah satu faktor yang dapat mempengaruhi keterampilan pekerja dalam melaksanakan pekerjaan konstruksi. Pekerja yang belum memiliki pengalaman kerja umumnya belum terbiasa menghadapi berbagai kondisi pekerjaan di lapangan serta belum memiliki kemampuan yang cukup dalam mengidentifikasi

potensi bahaya yang dapat terjadi selama proses pekerjaan berlangsung. Dalam pekerjaan *erection girder*, pengalaman kerja sangat penting karena pekerja harus mampu memahami pergerakan material yang sedang diangkat serta menjaga jarak aman dari area pengangkatan. Pengalaman kerja juga berkaitan dengan kemampuan pekerja dalam mengidentifikasi potensi bahaya sehingga dapat meminimalkan terjadinya kesalahan kerja yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja, termasuk risiko pekerja tertimpa girder (Mayandari dan Inayah, 2023).

- Faktor ketiga kurangnya pelatihan kerja. Pelatihan kerja berperan penting dalam meningkatkan keterampilan pekerja dalam memahami metode kerja serta penggunaan peralatan secara aman. Pekerja yang tidak mendapatkan pelatihan yang memadai cenderung memiliki keterbatasan dalam memahami teknik pekerjaan dan prosedur keselamatan kerja, termasuk teknik pengangkatan material menggunakan alat berat serta prosedur keselamatan di area pengangkatan girder. Selain itu, pelatihan K3 juga berperan dalam membangun budaya keselamatan kerja sehingga pekerja dapat lebih memahami potensi bahaya yang terdapat di lingkungan kerja (Irpan dkk., 2025).
- Faktor keempat kurangnya penguasaan teknik, berkaitan dengan kemampuan pekerja dalam melaksanakan metode kerja yang sesuai dengan standar teknis yang telah ditetapkan. Dalam sektor konstruksi, kompetensi teknis pekerja merupakan faktor penting dalam mendukung keberhasilan pelaksanaan pekerjaan serta meminimalkan risiko kecelakaan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, penguasaan teknik kerja sangat diperlukan terutama dalam proses pemasangan, pengaturan posisi girder, serta koordinasi dengan operator alat berat agar material dapat

dipasang secara stabil dan aman sehingga tidak membahayakan pekerja yang berada di sekitar area kerja

Berdasarkan keempat faktor tersebut, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan *Design Thinking*. Kurangnya keterampilan dalam penelitian ini dipilih dua penyebab utama, yaitu tingkat pendidikan pekerja dan pengalaman kerja. Tingkat pendidikan dapat memengaruhi kemampuan pekerja dalam memahami prosedur kerja, instruksi keselamatan, serta komunikasi teknis di lapangan. Pekerja dengan tingkat pendidikan yang rendah cenderung memiliki keterbatasan dalam memahami standar operasional kerja yang aman, termasuk prosedur keselamatan pada saat proses pengangkatan girder menggunakan crane. Selain itu, pengalaman kerja juga berperan penting dalam membentuk keterampilan pekerja dalam menghadapi kondisi pekerjaan yang berisiko tinggi seperti pekerjaan *erection girder*. Pekerja yang memiliki pengalaman kerja lebih baik umumnya lebih memahami potensi bahaya di lapangan, termasuk bahaya yang berkaitan dengan pergerakan material girder yang sedang diangkat maupun diposisikan. Penelitian oleh Iqbal dan Feri (2014) menunjukkan bahwa tingkat pendidikan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecelakaan kerja. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, tingkat pendidikan menunjukkan hubungan yang cukup kuat terhadap kejadian kecelakaan kerja, dimana nilai koefisien korelasi sebelum dimoderasi sebesar $R = 0,616$ dan setelah dimoderasi meningkat menjadi $R = 0,642$. Selain itu, rendahnya tingkat pendidikan pada pekerja konstruksi seringkali dipengaruhi oleh kondisi ekonomi yang lemah. Keterbatasan ekonomi dapat menyebabkan seseorang tidak mampu melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi sehingga memilih untuk langsung memasuki dunia kerja. Kondisi tersebut umum ditemukan pada sektor konstruksi, dimana sebagian pekerja berasal dari latar belakang ekonomi menengah ke bawah dan memiliki tingkat pendidikan yang relatif rendah. Keterbatasan

pendidikan akibat faktor ekonomi ini pada akhirnya dapat mempengaruhi kemampuan pekerja dalam memahami prosedur keselamatan kerja serta instruksi teknis yang diberikan di lapangan, termasuk dalam memahami zona aman di sekitar area pengangkatan girder. Hal ini dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja apabila pekerja berada pada posisi yang tidak aman saat proses pengangkatan girder berlangsung. Selain itu, penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa pengalaman kerja memiliki pengaruh signifikan terhadap terjadinya kecelakaan kerja, sehingga pekerja yang memiliki pengalaman kerja lebih baik cenderung memiliki tingkat kewaspadaan serta kemampuan kerja yang lebih tinggi dalam menghadapi potensi bahaya di tempat kerja. Berdasarkan hal tersebut, kedua faktor ini dipilih sebagai *basic event* yang memengaruhi kurangnya keterampilan pekerja pada penelitian ini.

- b) Faktor tidak fokus dipilih sebagai salah satu penyebab potensi kecelakaan kerja karena pekerjaan *erection girder* dilaksanakan pada malam hari serta melibatkan aktivitas fisik yang cukup berat dan berisiko tinggi, terutama pada saat proses pengangkatan dan pemasangan girder menggunakan alat berat. Kondisi tersebut berpotensi memengaruhi tingkat konsentrasi dan kewaspadaan pekerja dalam menjalankan pekerjaannya. Pekerja yang tidak memiliki tingkat fokus yang baik berisiko melakukan kesalahan dalam memperhatikan pergerakan material girder yang sedang diangkat, tidak menjaga jarak aman dari area pengangkatan, ataupun terlambat merespons kondisi berbahaya di sekitar area kerja. Hal tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja, termasuk risiko pekerja tertimpa girder apabila pekerja berada pada posisi yang tidak aman saat proses pengangkatan berlangsung. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi kondisi tidak fokus pada pekerja antara lain sebagai berikut:
- Dehidrasi merupakan kondisi ketika tubuh kehilangan cairan dalam jumlah yang cukup besar sehingga dapat memengaruhi

fungsi fisiologis tubuh. Kondisi dehidrasi dapat menyebabkan penurunan konsentrasi serta menurunnya kemampuan tubuh dalam mempertahankan stamina selama bekerja. Pada pekerjaan *erection girder* yang membutuhkan kewaspadaan tinggi terhadap pergerakan material berat, penurunan konsentrasi akibat dehidrasi dapat menyebabkan pekerja kurang memperhatikan kondisi di sekitar area pengangkatan girder sehingga meningkatkan risiko pekerja berada pada area berbahaya yang berpotensi menyebabkan tertimpa girder.

- Kelelahan kerja merupakan kondisi menurunnya kapasitas fisik dan mental pekerja akibat aktivitas kerja yang berlangsung dalam waktu yang lama atau melibatkan beban kerja yang tinggi. Kondisi kelelahan dapat menyebabkan berkurangnya ketelitian serta lambatnya respons pekerja dalam menghadapi potensi bahaya. Dalam pekerjaan *erection girder*, kelelahan dapat membuat pekerja kurang sigap dalam merespons pergerakan girder yang sedang diangkat atau diposisikan, sehingga meningkatkan kemungkinan pekerja berada pada posisi yang tidak aman dan berpotensi tertimpa girder apabila terjadi pergeseran atau ketidakstabilan material.
- Rasa mengantuk sering terjadi pada pekerjaan yang dilakukan pada malam hari karena adanya gangguan pada ritme biologis tubuh (*circadian rhythm*). Ramdan dan Handoko (2016) menyatakan bahwa pekerja yang bekerja pada sistem kerja malam cenderung mengalami gangguan pola tidur yang dapat menyebabkan rasa kantuk berlebih, penurunan konsentrasi, serta meningkatnya risiko kecelakaan kerja di lingkungan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, rasa mengantuk dapat menyebabkan pekerja tidak sepenuhnya memperhatikan kondisi kerja di sekitarnya, termasuk pergerakan girder yang

sedang diangkat oleh alat berat, sehingga meningkatkan risiko pekerja berada pada area yang berpotensi tertimpa girder.

- Stres kerja dapat muncul akibat tekanan pekerjaan, target penyelesaian pekerjaan, maupun kondisi kerja yang menuntut konsentrasi tinggi. Apabila stres kerja berlangsung dalam waktu yang lama, kondisi tersebut dapat menurunkan performa kerja serta meningkatkan kemungkinan terjadinya kesalahan kerja. Putri dan Widajati (2017) menunjukkan bahwa stres kerja memiliki hubungan dengan meningkatnya risiko kecelakaan kerja karena dapat memengaruhi kondisi psikologis pekerja serta menurunkan tingkat kewaspadaan terhadap bahaya di lingkungan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, stres kerja dapat menyebabkan pekerja menjadi kurang fokus terhadap instruksi kerja maupun kondisi di sekitar area pengangkatan girder, sehingga meningkatkan potensi terjadinya kesalahan posisi kerja yang dapat berujung pada kecelakaan seperti pekerja tertimpa girder.

Berdasarkan pendekatan design thinking, pemilihan faktor yang dianalisis dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, berbagai kondisi yang dapat memengaruhi tingkat fokus pekerja diidentifikasi melalui kajian literatur serta pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan *erection girder* yang dilakukan pada malam hari dan melibatkan aktivitas fisik yang berat serta penggunaan material berukuran besar. Dari proses tersebut diperoleh beberapa faktor yang berpotensi menurunkan konsentrasi pekerja, yaitu dehidrasi, kelelahan kerja, mengantuk, dan stres kerja. Kondisi-kondisi tersebut dapat menyebabkan pekerja kurang memperhatikan pergerakan girder yang sedang diangkat maupun posisi aman di sekitar area kerja sehingga berpotensi meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder. Selanjutnya pada tahap *define* dilakukan proses penyederhanaan dengan memilih faktor yang paling relevan dengan

kondisi fisik pekerja selama proses pekerjaan berlangsung. Berdasarkan pertimbangan tersebut, dehidrasi, kelelahan, dan mengantuk dipilih sebagai faktor utama karena ketiganya secara langsung berkaitan dengan kondisi fisiologis pekerja yang dipengaruhi oleh aktivitas kerja berat, durasi kerja, serta pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Sementara itu, faktor stres kerja tidak dipilih karena lebih berkaitan dengan aspek psikologis yang tidak selalu muncul secara langsung dari kondisi pekerjaan di lapangan. Oleh karena itu, analisis dalam penelitian ini difokuskan pada tiga faktor tersebut karena dinilai lebih representatif dalam menggambarkan kondisi tidak fokus yang berpotensi menyebabkan pekerja berada pada posisi berbahaya di sekitar area pengangkatan girder. Menurut Suraji dkk. (2001), tingkat fokus dan kewaspadaan pekerja memiliki pengaruh terhadap kemungkinan terjadinya kecelakaan kerja. Ketika pekerja kurang memperhatikan potensi bahaya di lingkungan kerja, maka probabilitas terjadinya kecelakaan akan meningkat. Dalam konteks pekerjaan *erection girder*, kondisi tidak fokus yang disebabkan oleh dehidrasi, kelelahan, dan rasa mengantuk dapat menurunkan kewaspadaan pekerja terhadap pergerakan material girder yang sedang diangkat, sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder apabila berada pada posisi yang tidak aman. Ada beberapa faktor yang memengaruhi menurunnya tingkat fokus pekerja, kelelahan kerja menjadi salah satu penyebab penting yang perlu dianalisis lebih lanjut. Kelelahan dapat menurunkan konsentrasi serta memperlambat respons pekerja terhadap kondisi berbahaya di area kerja. Dalam penelitian ini, penyebab kelelahan difokuskan pada dua faktor utama yaitu faktor usia dan kurangnya waktu istirahat. Pekerja dengan usia yang lebih tinggi umumnya mengalami penurunan kemampuan fisik sehingga lebih mudah mengalami kelelahan saat melakukan pekerjaan konstruksi yang berat. Selain itu, waktu istirahat yang tidak cukup

dapat menyebabkan tubuh tidak memiliki kesempatan untuk memulihkan energi setelah bekerja. Kondisi tersebut dapat menurunkan kewaspadaan pekerja dalam memperhatikan pergerakan girder selama proses pengangkatan maupun pemasangan, sehingga berpotensi meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder di area kerja. Oleh karena itu, faktor tidak fokus menjadi salah satu basic event yang penting untuk dianalisis dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA) guna mengidentifikasi penyebab kecelakaan kerja secara lebih sistematis.

2. Faktor Lingkungan

Faktor Lingkungan dipilih karena kondisi lingkungan kerja pada proyek konstruksi dapat memengaruhi tingkat keselamatan pekerja selama proses pekerjaan berlangsung. Pada pekerjaan *erection girder*, proses pengangkatan dan penempatan girder umumnya dilakukan di area terbuka serta melibatkan penggunaan alat berat seperti crane untuk mengangkat material dengan berat yang sangat besar. Kondisi lingkungan yang tidak mendukung dapat mengganggu stabilitas proses pengangkatan maupun konsentrasi pekerja di sekitar area kerja, sehingga meningkatkan potensi kecelakaan seperti pekerja tertimpa girder. Hal ini sejalan dengan *Domino Theory* yang menyatakan bahwa kecelakaan merupakan rangkaian sebab akibat yang saling berkaitan, dimana kondisi lingkungan kerja yang tidak aman dapat menjadi salah satu pemicu terjadinya kecelakaan kerja (Suraji dkk., 2001). Berdasarkan kajian literatur, beberapa faktor lingkungan yang berpotensi menyebabkan pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder* antara lain sebagai berikut:

1) Cuaca Buruk

Cuaca buruk merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi keselamatan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Kondisi seperti angin kencang dan hujan dapat memengaruhi stabilitas proses pengangkatan girder menggunakan crane. Firdaus dan Erwandi, (2023) menunjukkan bahwa faktor cuaca merupakan salah satu faktor penting

yang memengaruhi terjadinya kecelakaan pada pekerjaan pemasangan girder di proyek konstruksi.

2) Lingkungan Operasional di Lokasi Yang Buruk

Lingkungan operasional yang kurang mendukung juga dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Kondisi seperti pencahayaan yang kurang memadai, kebisingan tinggi, atau permukaan kerja yang tidak stabil dapat memengaruhi kemampuan pekerja dalam memperhatikan pergerakan girder selama proses pengangkatan. Pencahayaan yang kurang baik terutama pada pekerjaan malam hari dapat menyebabkan pekerja kesulitan melihat posisi girder maupun area aman di sekitarnya. Hal tersebut dapat meningkatkan potensi pekerja berada pada posisi yang berbahaya di sekitar area pengangkatan girder. Kondisi lingkungan operasional yang tidak memadai diketahui memiliki kontribusi terhadap terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan konstruksi (Putri dan Lestari, 2023).

3) Lingkungan Hidrogeologi yang buruk

Lingkungan hidrogeologi berkaitan dengan kondisi tanah dan kestabilan area tempat berdirinya peralatan berat seperti crane. Tanah yang tidak stabil atau memiliki daya dukung rendah dapat menyebabkan peralatan berat mengalami pergeseran atau ketidakstabilan saat proses pengangkatan girder berlangsung. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kestabilan girder yang sedang diangkat sehingga meningkatkan potensi material bergerak tidak terkendali. Apabila pekerja berada di sekitar area pengangkatan, kondisi ini dapat meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder apabila terjadi pergeseran atau kegagalan dalam proses pengangkatan (NIH, 2023).

4) Area kerja Terbatas

Pekerjaan *erection girder* sering dilakukan di area dengan ruang gerak yang terbatas, seperti di atas jalan raya atau di antara struktur yang sudah ada. Pada kondisi tersebut, ruang gerak pekerja maupun peralatan menjadi terbatas sehingga menyulitkan proses mobilisasi material dan pengaturan

posisi kerja yang aman. Keterbatasan ruang gerak juga dapat menyebabkan pekerja berada terlalu dekat dengan area pengangkatan girder. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material yang tidak terkontrol selama proses pengangkatan (Firdaus dan Erwandi, 2023).

5) Lalu lintas di Sekitar Proyek yang Tidak Terkendali

Pada proyek konstruksi yang berada di jalan raya, lalu lintas kendaraan di sekitar area kerja dapat memengaruhi keselamatan pekerja. Kendaraan berat yang melintas dapat menimbulkan getaran pada area kerja yang berpotensi memengaruhi kestabilan peralatan maupun struktur sementara yang digunakan dalam proses pengangkatan girder. Selain itu, lalu lintas yang padat juga dapat mengganggu konsentrasi pekerja di lapangan. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko kesalahan posisi kerja di sekitar area pengangkatan girder sehingga berpotensi menyebabkan pekerja tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material secara tiba-tiba

Berdasarkan hasil identifikasi terhadap kondisi lingkungan kerja pada pekerjaan *erection girder*, ditemukan beberapa faktor yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan kerja, khususnya risiko pekerja tertimpa girder. Faktor-faktor tersebut meliputi cuaca buruk, lingkungan operasional di lokasi kerja yang kurang mendukung, kondisi hidrogeologi yang tidak stabil, keterbatasan area kerja, serta kondisi lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali. Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *design thinking* untuk mengelompokkan dan menyederhanakan faktor-faktor tersebut berdasarkan keterkaitan serta dampaknya terhadap keselamatan pekerja selama proses pengangkatan girder di lapangan. Melalui tahap *empathize* dan *define*, berbagai faktor lingkungan dianalisis berdasarkan kesamaan karakteristik dan pengaruhnya terhadap proses pengangkatan girder. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar faktor tersebut berkaitan dengan dua aspek utama, yaitu kondisi lingkungan alam dan keterbatasan ruang kerja di lokasi proyek. Oleh karena itu, dalam penelitian ini faktor-faktor lingkungan tersebut disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling dominan memengaruhi

potensi kecelakaan kerja, yaitu cuaca buruk dan area kerja terbatas. Penyederhanaan ini dilakukan agar proses analisis penyebab kecelakaan dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat dilakukan secara lebih terarah. Faktor pertama adalah cuaca buruk, yang mencakup kondisi lingkungan alam seperti angin kencang dan hujan. Kondisi tersebut dapat memengaruhi kestabilan proses pengangkatan girder menggunakan alat berat seperti crane. Angin kencang dapat menyebabkan girder yang sedang diangkat menjadi tidak stabil atau bergoyang sehingga meningkatkan risiko pergerakan material yang tidak terkendali. Selain itu, hujan juga dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi licin serta menurunkan visibilitas pekerja. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi pekerja berada terlalu dekat dengan area pengangkatan girder sehingga berisiko tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material secara tiba-tiba. Faktor kedua adalah area kerja terbatas, yang berkaitan dengan keterbatasan ruang gerak di lokasi proyek. Pada pekerjaan *erection girder*, aktivitas konstruksi sering dilakukan di area yang sempit seperti di atas jalan raya atau di antara struktur yang telah terpasang. Dalam penelitian ini, pekerjaan juga dilaksanakan di jalan raya yang masih aktif digunakan oleh kendaraan serta berada pada area perempatan jalan. Kondisi tersebut menyebabkan ruang kerja menjadi terbatas dan meningkatkan kompleksitas aktivitas di lapangan. Keterbatasan ruang gerak dapat menyebabkan pekerja berada terlalu dekat dengan area pengangkatan girder maupun jalur pergerakan alat berat. Situasi ini dapat meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder apabila terjadi kesalahan posisi kerja atau pergerakan material yang tidak terkendali selama proses pengangkatan. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dipilih sebagai faktor lingkungan utama yang dianalisis lebih lanjut dalam metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi penyebab potensi kecelakaan kerja secara lebih sistematis. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

a) Cuaca merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi keselamatan kerja pada proyek konstruksi karena sebagian besar aktivitas dilakukan di area terbuka. Pada pekerjaan *erection girder*, kondisi cuaca menjadi faktor penting karena proses pekerjaan melibatkan pengangkatan material dengan beban yang besar menggunakan alat berat seperti crane. Apabila pekerjaan dilakukan pada kondisi cuaca yang tidak mendukung, maka stabilitas proses pengangkatan girder dapat terganggu sehingga meningkatkan potensi kecelakaan kerja, khususnya risiko pekerja tertimpa girder. Risiko bekerja pada kondisi cuaca yang tidak menentu memiliki potensi besar untuk menimbulkan kecelakaan yang dapat membahayakan pekerja maupun mengganggu kelancaran pekerjaan konstruksi (Dharmais dkk., 2025). Beberapa kondisi cuaca yang dapat memengaruhi keselamatan kerja pada pekerjaan *erection girder* antara lain sebagai berikut:

- Hujan dapat menyebabkan permukaan area kerja menjadi basah dan licin sehingga menyulitkan pekerja dalam menjaga posisi aman di sekitar area pengangkatan girder. Kondisi ini dapat meningkatkan potensi pekerja terpeleset atau berada terlalu dekat dengan area pengangkatan material sehingga berisiko tertimpa girder. Sutrisno dan Wibowo (2018) menyatakan bahwa kondisi lingkungan kerja yang basah akibat hujan dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja karena memengaruhi stabilitas pijakan pekerja serta visibilitas saat bekerja.
- Angin kencang dapat memengaruhi kestabilan girder yang sedang diangkat menggunakan crane. Pada pekerjaan *erection girder*, material yang diangkat memiliki ukuran besar sehingga sensitif terhadap pengaruh angin. Apabila kecepatan angin tinggi, girder dapat berayun atau bergerak tidak stabil sehingga meningkatkan potensi membahayakan pekerja yang berada di sekitar area pengangkatan. Bhatti (2015) menyatakan bahwa angin kencang dapat memengaruhi pengoperasian crane dan

alat pengangkat lainnya, terutama saat mengangkat material berukuran besar seperti girder.

- Kabut atau jarak pandang terbatas dapat mengurangi visibilitas pekerja dalam mengamati kondisi di sekitar area kerja. Keterbatasan jarak pandang dapat menghambat koordinasi antar pekerja maupun operator alat berat sehingga meningkatkan kemungkinan kesalahan komunikasi saat proses pengangkatan girder berlangsung (Hasibuan dan Kurniawan, 2020).
- Suhu udara yang terlalu panas dapat memengaruhi kondisi fisik pekerja seperti kelelahan dan dehidrasi yang pada akhirnya dapat menurunkan konsentrasi saat bekerja di sekitar area pengangkatan girder.

Berdasarkan pendekatan *design thinking*, pemilihan faktor cuaca yang dianalisis dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai kondisi cuaca yang berpotensi memengaruhi keselamatan kerja pada pekerjaan *erection girder* melalui kajian literatur dan pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan di area terbuka. Dari proses tersebut diperoleh beberapa faktor cuaca yang berpotensi memengaruhi keselamatan kerja, yaitu hujan, angin kencang, kabut, dan suhu udara panas. Selanjutnya pada tahap *define*, faktor-faktor tersebut disederhanakan dengan memilih kondisi yang paling berpengaruh langsung terhadap proses pengangkatan girder. Berdasarkan analisis tersebut, hujan dan angin kencang dipilih sebagai faktor utama karena keduanya secara langsung dapat memengaruhi stabilitas proses pengangkatan girder serta kondisi area kerja. Hujan dapat menyebabkan permukaan kerja menjadi licin dan menurunkan visibilitas pekerja, sedangkan angin kencang dapat menyebabkan girder yang sedang diangkat menjadi tidak stabil atau berayun. Oleh karena itu, faktor cuaca buruk dipilih sebagai salah satu faktor lingkungan yang dianalisis dalam penelitian ini karena memiliki

keterkaitan langsung dengan potensi kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*.

- b) Pada proyek pembangunan jembatan atau jalan, pekerja sering dihadapkan pada kondisi ruang kerja yang terbatas sehingga ruang gerak menjadi lebih sempit. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja karena pekerja harus bekerja dalam jarak yang dekat dengan alat berat, material konstruksi, maupun aktivitas lain di sekitar area proyek. Pada pekerjaan *erection girder*, keterbatasan ruang kerja dapat menyebabkan pekerja berada terlalu dekat dengan area pengangkatan girder sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa material apabila terjadi pergerakan girder yang tidak terkendali. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi kondisi area kerja terbatas antara lain sebagai berikut:

- Kurangnya penerangan merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi keselamatan kerja, terutama pada pekerjaan yang dilakukan pada malam hari. Penerangan yang tidak memadai dapat menyebabkan visibilitas pekerja menjadi terbatas sehingga pekerja sulit mengamati posisi girder yang sedang diangkat maupun kondisi area aman di sekitarnya. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi pekerja berada pada posisi berbahaya di sekitar area pengangkatan. Penelitian Arman dkk. (2022) menyebutkan bahwa kurangnya penerangan pada pekerjaan konstruksi malam hari dapat menurunkan visibilitas pekerja dan meningkatkan risiko kecelakaan kerja.
- Lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali juga dapat memengaruhi keselamatan kerja pada proyek konstruksi yang berada di jalan aktif. Kendaraan yang melintas terlalu dekat dengan area kerja dapat mengganggu proses pengangkatan girder menggunakan crane serta meningkatkan kompleksitas aktivitas di lapangan. Selain itu, pergerakan kendaraan berat dapat menimbulkan getaran dan gangguan konsentrasi bagi

pekerja yang berada di sekitar area kerja. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi kesalahan posisi kerja sehingga pekerja berisiko tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material yang tidak terkendali selama proses pengangkatan.

- Penumpukan material konstruksi serta peralatan kerja di area proyek dapat menyebabkan ruang gerak pekerja menjadi semakin terbatas. Kondisi ini dapat menyulitkan pekerja dalam melakukan mobilitas di area kerja serta meningkatkan potensi pekerja tersandung atau terjatuh.
- Keterbatasan jalur akses merupakan kondisi ketika area proyek tidak memiliki ruang yang cukup untuk pergerakan pekerja maupun alat berat secara aman. Pada proyek konstruksi yang berada di ruang terbatas seperti jalan aktif atau area perkotaan, jalur akses sering kali harus berbagi dengan aktivitas lain sehingga meningkatkan kompleksitas pekerjaan. Kondisi ini dapat menyebabkan terjadinya konflik pergerakan antara pekerja, alat berat, serta kendaraan yang melintas sehingga meningkatkan potensi kecelakaan kerja

Pada penelitian ini, pekerjaan *erection girder* dilaksanakan pada malam hari untuk mengurangi gangguan terhadap arus lalu lintas di sekitar proyek. Namun kondisi tersebut menyebabkan visibilitas di area kerja menjadi terbatas sehingga keberadaan penerangan yang memadai sangat penting untuk mendukung keselamatan kerja. Selain itu, lokasi pekerjaan yang berada di jalan raya aktif menyebabkan interaksi antara aktivitas konstruksi dan lalu lintas kendaraan tidak dapat dihindari. Oleh karena itu, kurangnya penerangan serta lalu lintas di sekitar proyek yang tidak terkendali dipilih sebagai *basic event* dalam faktor area kerja terbatas, karena kedua kondisi tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan potensi kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*.

3. Faktor Teknis

Faktor teknis merupakan salah satu aspek yang dapat memengaruhi tingkat keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Berdasarkan *Domino Theory*, kecelakaan kerja terjadi akibat rangkaian sebab akibat yang saling berkaitan, dimana salah satu penyebabnya adalah kondisi tidak aman (*unsafe condition*) yang dapat berasal dari faktor teknis seperti kondisi peralatan, metode kerja, maupun sistem operasional yang tidak berjalan dengan baik. Pada pekerjaan *erection girder*, faktor teknis memiliki peran penting karena proses pekerjaan melibatkan pengangkatan material dengan beban yang sangat besar menggunakan peralatan berat. Apabila faktor teknis tidak dikendalikan dengan baik, maka dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja, khususnya risiko pekerja tertimpa girder. Berdasarkan berbagai studi literatur, terdapat beberapa faktor teknis yang berpotensi menyebabkan pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*, antara lain sebagai berikut:

1) Peralatan Belum Layak Digunakan

Penggunaan peralatan yang belum layak atau tidak memenuhi standar keselamatan dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Peralatan seperti *crane*, *slings*, *shackles*, *wire rope*, serta peralatan *rigging* lainnya merupakan komponen utama dalam proses pengangkatan girder. Apabila kondisi peralatan mengalami kerusakan, keausan, atau tidak sesuai dengan kapasitas beban yang diangkat, maka dapat menyebabkan kegagalan fungsi selama proses pengangkatan. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan girder terlepas atau jatuh dari sistem pengangkatan sehingga membahayakan pekerja yang berada di sekitar area kerja. Penelitian Ricky (2018) menyebutkan bahwa faktor peralatan merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan pada pekerjaan pemasangan girder. Selain itu, Thomas dan Henry (2017) menegaskan bahwa peralatan konstruksi yang rusak atau tidak memenuhi standar dapat meningkatkan risiko kegagalan fungsi yang dapat membahayakan pekerja di lapangan.

2) Metode Pelaksanaan Tidak Sesuai

Metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan prosedur standar operasional juga dapat menjadi faktor teknis yang memicu terjadinya kecelakaan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, setiap tahapan pekerjaan seperti proses pengangkatan, pengaturan titik angkat, serta koordinasi antara operator crane dan pekerja di lapangan harus dilakukan berdasarkan metode kerja yang telah direncanakan. Apabila metode pelaksanaan tidak mengikuti prosedur yang telah ditetapkan, maka dapat terjadi kesalahan dalam proses pengangkatan girder, seperti ketidakseimbangan beban, kesalahan pemasangan *rigging*, maupun koordinasi kerja yang kurang efektif. Kondisi tersebut dapat menyebabkan girder bergerak tidak stabil atau terlepas dari sistem pengangkatan sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder. Kompas.com (2018) menyebutkan bahwa kecelakaan konstruksi sering terjadi akibat tidak dipenuhinya standar operasional prosedur, khususnya pada pekerjaan pengangkatan material berat seperti girder.

3) Kesalahan Design atau Perencanaan Teknis

Kesalahan dalam desain atau perencanaan teknis juga dapat menjadi penyebab terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Faktor ini mencakup kesalahan dalam perhitungan kapasitas angkat, pemilihan jenis crane yang tidak sesuai, maupun kesalahan dalam menentukan titik angkat girder. Apabila perencanaan teknis tidak dilakukan dengan tepat, maka distribusi beban saat proses pengangkatan dapat menjadi tidak seimbang sehingga meningkatkan potensi girder miring atau jatuh. Kondisi tersebut dapat membahayakan pekerja yang berada di sekitar area pengangkatan karena berisiko tertimpa material yang jatuh.

4) Ketidakstabilan Struktur Utama

Ketidakstabilan struktur sementara seperti *saddle*, penyangga sementara, atau struktur pendukung lainnya juga dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Struktur sementara berfungsi untuk menahan atau menstabilkan posisi girder selama proses

pemasangan berlangsung. Apabila struktur tersebut tidak stabil atau tidak dirancang dengan baik, maka girder dapat bergeser atau jatuh dari posisinya sehingga berpotensi menimpa pekerja yang berada di area kerja. Penelitian Mamahit dkk. (2022) menyatakan bahwa penggunaan struktur sementara dalam pekerjaan konstruksi memiliki potensi bahaya yang cukup besar apabila tidak dilakukan pemeriksaan dan pengendalian secara tepat.

5) Kegagalan Sistem Pengangkatan

Kegagalan sistem pengangkatan merupakan faktor teknis yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Sistem pengangkatan terdiri dari berbagai komponen seperti *crane*, *wire rope*, *sling*, *shackle*, dan perangkat *rigging* lainnya yang bekerja secara terintegrasi untuk mengangkat girder ke posisi yang direncanakan. Apabila salah satu komponen mengalami kerusakan, kesalahan pemasangan, atau digunakan melebihi kapasitasnya, maka dapat menyebabkan kegagalan sistem pengangkatan secara keseluruhan. Kondisi tersebut dapat mengakibatkan girder jatuh dari ketinggian sehingga berpotensi menimpa pekerja yang berada di sekitar area pengangkatan.

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *design thinking* untuk menyederhanakan berbagai faktor teknis yang telah diidentifikasi. Pendekatan ini dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define* untuk memahami kondisi lapangan serta mengelompokkan faktor-faktor yang memiliki keterkaitan. Pada tahap *empathize*, dilakukan pengamatan terhadap pelaksanaan pekerjaan *erection girder* serta identifikasi berbagai faktor teknis yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja. Hasil identifikasi menunjukkan lima faktor utama, yaitu penggunaan peralatan yang belum layak digunakan, metode pelaksanaan yang tidak sesuai, kesalahan desain atau perencanaan teknis, ketidakstabilan struktur sementara, serta kegagalan sistem pengangkatan. Selanjutnya pada tahap *define*, dilakukan proses pengelompokan terhadap faktor-faktor tersebut berdasarkan keterkaitan karakteristiknya. Hasil analisis menunjukkan bahwa kegagalan sistem

pengangkatan memiliki hubungan langsung dengan kondisi peralatan kerja yang digunakan, sehingga faktor tersebut dikelompokkan ke dalam faktor peralatan belum layak digunakan. Sementara itu, kesalahan desain atau perencanaan teknis serta ketidakstabilan struktur sementara berkaitan dengan cara pekerjaan direncanakan dan dilaksanakan di lapangan, sehingga kedua faktor tersebut dikelompokkan ke dalam faktor metode pelaksanaan tidak sesuai. Berdasarkan hasil analisis menggunakan pendekatan *design thinking*, lima faktor teknis yang telah diidentifikasi kemudian disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling dominan memengaruhi potensi kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*, yaitu peralatan belum layak digunakan dan metode pelaksanaan tidak sesuai. Kedua faktor tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan potensi terjadinya kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder selama proses pengangkatan dan pemasangan girder di lapangan. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan keterkaitannya dengan potensi kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*.

a) Peralatan Belum Layak Digunakan

Peralatan kerja merupakan salah satu komponen penting dalam pelaksanaan pekerjaan konstruksi, terutama pada pekerjaan *erection girder* yang melibatkan penggunaan alat berat seperti crane serta berbagai peralatan pengangkatan lainnya. Kondisi peralatan yang tidak layak digunakan dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja karena peralatan tersebut tidak mampu berfungsi secara optimal selama proses pengangkatan girder berlangsung. Apabila terjadi kegagalan fungsi pada peralatan pengangkatan, maka girder yang sedang diangkat berpotensi terlepas atau jatuh sehingga dapat menyebabkan pekerja tertimpa girder di area kerja. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi kondisi peralatan belum layak digunakan antara lain sebagai berikut:

- Peralatan belum dilakukan uji riksa. Uji riksa merupakan proses pemeriksaan dan pengujian terhadap peralatan kerja untuk memastikan bahwa peralatan tersebut masih layak digunakan serta memenuhi standar keselamatan kerja. Pada pekerjaan

erection girder, peralatan seperti *crane*, *slings*, *shackles*, dan *wire rope* memiliki peran penting dalam proses pengangkatan material dengan beban yang besar. Apabila peralatan tersebut belum melalui proses uji riksa secara berkala, maka kondisi teknisnya tidak dapat dipastikan kelayakannya sehingga berpotensi mengalami kegagalan fungsi saat digunakan. Kegagalan peralatan pengangkatan dapat menyebabkan girder jatuh atau kehilangan kendali selama proses pengangkatan sehingga membahayakan pekerja di sekitar area kerja.

- Peralatan mengalami keausan atau kerusakan. Peralatan kerja yang telah digunakan dalam jangka waktu lama berpotensi mengalami keausan maupun kerusakan pada beberapa komponennya. Kondisi seperti *wire rope* yang aus, *slings* yang melemah, atau komponen peralatan yang rusak dapat menyebabkan kegagalan fungsi saat proses pengangkatan berlangsung. Thomas dan Law (2017) menyatakan bahwa peralatan konstruksi yang mengalami kerusakan, keausan, atau kehilangan bagian tertentu dapat meningkatkan potensi bahaya bagi pekerja karena dapat menyebabkan kegagalan fungsi saat digunakan.
- Ketidaksihesuaian kapasitas peralatan dengan beban kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, material girder memiliki ukuran dan berat yang besar sehingga membutuhkan peralatan pengangkatan dengan kapasitas yang sesuai. Apabila kapasitas peralatan tidak mencukupi untuk menahan beban yang diangkat, maka peralatan dapat mengalami kelebihan beban (*overload*) yang berpotensi menyebabkan kerusakan atau kegagalan sistem pengangkatan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan girder jatuh dari sistem pengangkatan dan meningkatkan risiko pekerja tertimpa material.

Berdasarkan pendekatan *design thinking*, penyederhanaan faktor dilakukan melalui tahapan *empathize* dan *define*. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai kondisi peralatan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder* melalui kajian literatur serta pemahaman terhadap karakteristik pekerjaan pengangkatan material menggunakan alat berat. Dari proses tersebut ditemukan beberapa faktor yang berkaitan dengan kondisi peralatan, seperti peralatan yang mengalami kerusakan atau keausan, ketidaksesuaian kapasitas peralatan dengan beban kerja, serta peralatan yang belum melalui proses pemeriksaan kelayakan. Selanjutnya pada tahap *define*, dilakukan proses penyederhanaan dengan mengelompokkan faktor-faktor tersebut ke dalam satu faktor utama yang memiliki keterkaitan langsung dengan kondisi kelayakan peralatan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, faktor alat belum uji riksa dipilih sebagai faktor utama karena proses uji riksa merupakan mekanisme pemeriksaan yang dapat mengidentifikasi berbagai permasalahan teknis pada peralatan, termasuk kerusakan, keausan, maupun ketidaksesuaian fungsi peralatan sebelum digunakan dalam pekerjaan. Uji riksa merupakan proses pemeriksaan dan pengujian yang dilakukan untuk memastikan bahwa peralatan kerja berada dalam kondisi aman dan memenuhi standar keselamatan sebelum digunakan dalam kegiatan operasional. Uji riksa alat sangat penting untuk mendeteksi cacat tersembunyi pada peralatan konstruksi seperti crane dan peralatan pengangkatan lainnya, sehingga dapat mengurangi potensi kecelakaan kerja akibat kegagalan mekanis atau struktural (Imron dkk., 2023). Apabila peralatan belum dilakukan uji riksa, maka kondisi teknis peralatan tidak dapat dipastikan kelayakannya sehingga berpotensi menimbulkan kegagalan fungsi saat digunakan. Pada pekerjaan *erection girder*, kegagalan fungsi peralatan pengangkatan dapat menyebabkan girder terlepas atau jatuh dari sistem pengangkatan sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder di area kerja.

Oleh karena itu, peralatan yang belum melalui proses uji riksa dipilih sebagai salah satu faktor teknis yang dianalisis dalam penelitian ini.

- b) Metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan prosedur standar (*non-standard work methods*) merupakan salah satu faktor teknis yang dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Metode kerja yang tidak mengikuti standar operasional prosedur (SOP) maupun perencanaan teknis yang telah ditetapkan dapat menyebabkan ketidakstabilan proses pekerjaan, kegagalan peralatan, serta meningkatnya potensi kesalahan kerja di lapangan (Azzakiyah dkk., 2025). Pada pekerjaan *erection girder*, metode pelaksanaan memiliki peran penting karena proses pekerjaan melibatkan pengangkatan girder dengan beban yang besar menggunakan alat berat seperti crane. Proses tersebut memerlukan tahapan kerja yang jelas, mulai dari penentuan titik angkat, proses *lifting*, pengaturan posisi girder, hingga penempatan girder pada struktur penyangga. Apabila metode pelaksanaan tidak dilakukan sesuai prosedur yang telah direncanakan, maka girder yang sedang diangkat dapat kehilangan stabilitas atau bergerak tidak terkendali sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder di area kerja. Dalam penelitian ini, terdapat beberapa faktor yang dapat memengaruhi ketidaksesuaian metode pelaksanaan pada pekerjaan *erection girder*, antara lain sebagai berikut:

- Tidak adanya SOP pengangkatan girder. Standar operasional prosedur (SOP) merupakan pedoman kerja yang berfungsi untuk mengatur tahapan pekerjaan secara sistematis agar kegiatan konstruksi dapat dilakukan dengan aman dan terkontrol. Pada pekerjaan *erection girder*, SOP sangat diperlukan untuk mengatur tahapan pengangkatan girder, termasuk pengaturan posisi crane, pemasangan *rigging*, komunikasi antara operator crane dan pekerja di lapangan, serta pengaturan area aman di sekitar proses pengangkatan. Apabila pekerjaan dilakukan tanpa SOP yang jelas, maka pekerja tidak

memiliki pedoman kerja yang baku sehingga berpotensi terjadi kesalahan dalam pelaksanaan pekerjaan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan girder yang sedang diangkat menjadi tidak stabil atau bergerak tidak terkendali sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa material. Sari dan Nugroho (2021), menunjukkan bahwa penerapan SOP yang tidak optimal dalam pekerjaan konstruksi dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja karena pekerja tidak memiliki pedoman kerja yang jelas dalam menjalankan aktivitasnya.

- Koordinasi kerja yang tidak efektif saat proses *lifting*. Proses pengangkatan girder melibatkan beberapa pihak seperti operator crane, *rigger*, dan pekerja yang bertugas mengarahkan posisi girder di lapangan. Apabila koordinasi kerja tidak berjalan dengan baik, maka dapat terjadi kesalahan komunikasi yang menyebabkan pergerakan girder tidak sesuai dengan rencana pengangkatan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan girder bergerak secara tiba-tiba atau tidak terkendali sehingga meningkatkan potensi pekerja tertimpa girder. Kurangnya koordinasi kerja pada pekerjaan pengangkatan material konstruksi dapat meningkatkan potensi kecelakaan kerja karena proses pekerjaan tidak berjalan secara terintegrasi (Pratama dan Kurniawan, 2019).
- Kesalahan dalam penentuan titik angkat girder. Penentuan titik angkat merupakan salah satu tahapan penting dalam proses *lifting* girder. Titik angkat yang tidak sesuai dapat menyebabkan distribusi beban pada girder menjadi tidak seimbang sehingga girder berpotensi miring atau berayun saat proses pengangkatan berlangsung. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kegagalan pengangkatan yang dapat menyebabkan girder jatuh dan membahayakan pekerja di sekitar area kerja. Putra dkk. (2020) menyatakan bahwa kesalahan dalam

perencanaan teknis, termasuk penentuan titik angkat material konstruksi, dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja karena memengaruhi stabilitas beban saat proses pengangkatan dilakukan.

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *design thinking* melalui tahapan *empathize* dan *define* untuk menentukan faktor yang paling dominan. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai permasalahan metode kerja yang berpotensi terjadi pada pekerjaan *erection girder* melalui kajian literatur serta pemahaman terhadap karakteristik proses pengangkatan girder. Hasil identifikasi menunjukkan beberapa faktor yang berkaitan dengan metode pelaksanaan, yaitu tidak adanya SOP pengangkatan girder, kesalahan dalam penentuan titik angkat, serta kurangnya koordinasi kerja selama proses *lifting*. Selanjutnya pada tahap *define*, dilakukan proses penyederhanaan dengan mengelompokkan faktor-faktor tersebut berdasarkan keterkaitannya dalam proses pekerjaan. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor kesalahan penentuan titik angkat dan kurangnya koordinasi kerja pada dasarnya berkaitan dengan tidak adanya pedoman kerja yang jelas dalam pelaksanaan pekerjaan. Dengan adanya SOP pengangkatan girder yang jelas, proses penentuan titik angkat serta mekanisme koordinasi kerja dapat diatur secara sistematis sehingga potensi kesalahan kerja dapat diminimalkan. Oleh karena itu, tidak adanya SOP pengangkatan girder dipilih sebagai *basic event* dalam faktor metode pelaksanaan tidak sesuai, karena faktor ini dinilai mampu merepresentasikan berbagai permasalahan metode kerja yang dapat menyebabkan ketidakaturan proses pengangkatan girder. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan ketidakstabilan girder selama proses pengangkatan sehingga meningkatkan risiko pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*.

4. Faktor Manajemen K3

Faktor manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3) merupakan salah satu aspek penting yang memengaruhi tingkat keselamatan kerja pada proyek konstruksi. Manajemen K3 berkaitan dengan bagaimana suatu organisasi proyek mengelola sistem keselamatan kerja melalui perencanaan, pelaksanaan, pengawasan, serta evaluasi terhadap aktivitas pekerjaan di lapangan. Pengelolaan K3 yang kurang optimal dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja karena berbagai risiko di lapangan tidak dikendalikan dengan baik. Pada pekerjaan *erection girder*, penerapan manajemen K3 menjadi sangat penting karena pekerjaan tersebut melibatkan proses pengangkatan material dengan beban besar menggunakan alat berat. Apabila sistem manajemen K3 tidak berjalan secara efektif, maka potensi kecelakaan kerja seperti pekerja tertimpa girder dapat meningkat. Andriani dkk. (2022) menyebutkan bahwa lemahnya manajemen K3 merupakan salah satu penyebab utama kecelakaan kerja pada sektor konstruksi karena berkaitan dengan kurangnya pengawasan, pelatihan, serta penerapan prosedur keselamatan kerja yang tidak optimal. Berdasarkan berbagai studi literatur, terdapat beberapa faktor manajemen K3 yang berpotensi menyebabkan kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*, antara lain sebagai berikut:

1) Minimnya Pengawasan dan Kesadaran Kerja

Minimnya pengawasan serta rendahnya kesadaran pekerja terhadap keselamatan kerja dapat meningkatkan risiko kecelakaan di lingkungan proyek. Pengawasan yang tidak optimal dapat menyebabkan pekerja mengabaikan prosedur kerja aman, seperti tidak menjaga jarak aman dari area pengangkatan girder atau tidak mengikuti arahan pengawas saat proses *lifting* berlangsung. Kondisi tersebut dapat meningkatkan potensi pekerja berada pada area berbahaya sehingga berisiko tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material yang tidak terkendali. Juliana dkk. (2023) menyatakan bahwa rendahnya kedisiplinan pekerja dalam menerapkan aturan keselamatan kerja di proyek konstruksi dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja.

2) Ketidaksesuaian Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD)

Ketidaksesuaian penggunaan alat pelindung diri (APD) juga dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. Kondisi ini dapat terjadi ketika pekerja tidak menggunakan APD secara lengkap, menggunakan APD yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan, atau menggunakan APD yang tidak memenuhi standar keselamatan. Dalam pekerjaan *erection girder*, penggunaan APD seperti helm keselamatan, rompi reflektif, dan sepatu keselamatan sangat penting untuk melindungi pekerja dari berbagai potensi bahaya di area kerja. Budiman dkk. (2025) menyatakan bahwa kepatuhan dalam penggunaan APD merupakan salah satu faktor utama dalam upaya pencegahan kecelakaan kerja pada proyek konstruksi.

3) Lemahnya koordinasi dan Komunikasi Antar Tim

Koordinasi dan komunikasi yang kurang efektif antara manajemen proyek, pengawas, operator alat berat, dan pekerja di lapangan dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, proses pengangkatan material memerlukan koordinasi yang baik antara operator crane, *rigger*, dan pekerja yang bertugas mengarahkan posisi girder. Apabila komunikasi tidak berjalan dengan baik, maka instruksi terkait proses pengangkatan dapat disalahartikan sehingga berpotensi menyebabkan pergerakan girder yang tidak terkendali. Aprilia dan Ramadhan (2021) menyatakan bahwa pelaksanaan *toolbox meeting* secara rutin dapat meningkatkan pemahaman pekerja terhadap prosedur kerja aman serta membantu mengurangi risiko kecelakaan kerja di proyek konstruksi.

4) Ketidaksesuaian atau Ketidaktersediaan Alat Pengaman Kerja (APK)

Ketersediaan alat pengaman kerja (APK) yang memadai merupakan salah satu elemen penting dalam sistem manajemen K3. Ketidaktersediaan atau ketidaksesuaian APK dapat menyebabkan pekerja tidak memiliki perlindungan yang cukup terhadap potensi bahaya di lingkungan kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, APK seperti pembatas area kerja, rambu

keselamatan, serta sistem pengamanan area pengangkatan sangat diperlukan untuk mencegah pekerja memasuki zona berbahaya saat proses pengangkatan girder berlangsung. Penelitian Tsanyan dkk. (2024) menunjukkan bahwa ketersediaan fasilitas keselamatan kerja serta pengawasan dalam penggunaannya merupakan faktor penting dalam menurunkan risiko kecelakaan kerja di proyek konstruksi.

Selanjutnya dilakukan analisis menggunakan pendekatan *design thinking* melalui tahapan *empathize* dan *define* untuk mengidentifikasi faktor yang paling dominan. Pada tahap *empathize*, peneliti mengidentifikasi berbagai faktor manajemen K3 yang berpotensi memengaruhi keselamatan kerja pada pekerjaan *erection girder*, seperti minimnya pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja, ketidaksesuaian penggunaan APD, lemahnya koordinasi dan komunikasi antar tim, serta ketidaktersediaan atau ketidaksesuaian alat pengaman kerja. Pada tahap *define*, dilakukan proses penyederhanaan dengan mengelompokkan faktor-faktor yang memiliki keterkaitan. Hasil analisis menunjukkan bahwa minimnya pengawasan, rendahnya kesadaran keselamatan kerja, serta lemahnya koordinasi dan komunikasi antar tim memiliki hubungan yang erat karena ketiga faktor tersebut berkaitan dengan sistem pengelolaan keselamatan kerja di proyek. Oleh karena itu, faktor-faktor tersebut dirumuskan menjadi satu faktor utama yaitu minimnya pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja. Sementara itu, ketidaksesuaian penggunaan APD memiliki keterkaitan dengan ketidaktersediaan atau ketidaksesuaian alat pengaman kerja, karena keduanya berkaitan dengan sistem perlindungan pekerja terhadap potensi bahaya di lingkungan kerja. Oleh karena itu, kedua faktor tersebut dirumuskan menjadi satu faktor utama yaitu ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK. Melalui proses *empathize* dan *define* dalam pendekatan *design thinking*, berbagai faktor manajemen K3 yang awalnya teridentifikasi secara terpisah dapat disederhanakan menjadi dua faktor utama yang paling berpengaruh terhadap potensi kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*, yaitu minimnya pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja serta ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK. Kedua

faktor tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan potensi terjadinya kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder pada proses pengangkatan dan pemasangan girder di lapangan. Kedua faktor utama tersebut selanjutnya akan dibahas lebih lanjut untuk menjelaskan secara lebih mendalam mengenai keterkaitan masing-masing faktor terhadap potensi terjadinya kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Adapun penjelasannya sebagai berikut:

- a) Pengawasan merupakan salah satu fungsi penting dalam penerapan manajemen K3 pada proyek konstruksi. Pengawasan yang baik bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh pekerja melaksanakan pekerjaan sesuai dengan prosedur keselamatan yang telah ditetapkan. Dalam pekerjaan *erection girder*, pengawasan menjadi sangat penting karena proses pengangkatan dan pemasangan girder melibatkan material dengan berat yang sangat besar serta penggunaan alat berat seperti crane. Apabila pengawasan tidak dilakukan secara optimal, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja seperti pekerja tertimpa girder dapat meningkat. Minimnya pengawasan dan kesadaran dalam penerapan manajemen K3 dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, kurangnya koordinasi antara manajemen proyek, pengawas lapangan, serta pekerja. Koordinasi yang kurang efektif dapat menyebabkan informasi terkait prosedur keselamatan tidak tersampaikan dengan baik kepada seluruh pihak yang terlibat dalam pekerjaan. Dalam proses pengangkatan girder, koordinasi yang tidak berjalan dengan baik dapat menyebabkan pekerja tidak memahami batas aman area pengangkatan atau tidak mengetahui instruksi yang diberikan oleh operator crane maupun *rigger*. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan pekerja berada di area berbahaya sehingga meningkatkan risiko tertimpa girder apabila terjadi pergerakan material yang tidak terkendali. Kedua, rendahnya tingkat disiplin pekerja dalam mematuhi prosedur keselamatan kerja. Pekerja yang tidak disiplin sering kali mengabaikan aturan keselamatan yang telah ditetapkan,

seperti tidak menjaga jarak aman dari area pengangkatan atau tidak mengikuti arahan pengawas saat proses *lifting* berlangsung. Dalam pekerjaan dengan risiko tinggi seperti *erection girder*, perilaku tidak disiplin dapat meningkatkan kemungkinan pekerja berada di bawah area pengangkatan material, sehingga berpotensi tertimpa girder apabila terjadi kegagalan pengangkatan atau pergerakan girder yang tidak stabil. Penelitian menunjukkan bahwa tingkat kedisiplinan pekerja dalam menerapkan standar keselamatan memiliki hubungan yang erat dengan tingkat kecelakaan kerja di sektor konstruksi. Selain itu, pengawasan yang tidak dilakukan secara rutin juga dapat menyebabkan penerapan prosedur keselamatan kerja di lapangan tidak berjalan secara optimal. Apabila pengawasan tidak dilakukan secara berkala, maka potensi pelanggaran terhadap prosedur keselamatan kerja akan meningkat karena pekerja tidak mendapatkan kontrol maupun arahan secara langsung selama proses pekerjaan berlangsung. Kondisi ini dapat menyebabkan pekerja berada di area kerja yang berbahaya saat proses pengangkatan girder berlangsung. Faktor lainnya adalah kurangnya sosialisasi dan pelatihan keselamatan kerja. Pelatihan K3 bertujuan untuk meningkatkan pemahaman pekerja mengenai potensi bahaya di lingkungan kerja serta cara melakukan pekerjaan secara aman. Tanpa adanya pelatihan yang memadai, pekerja mungkin tidak memahami risiko yang dapat terjadi selama proses pengangkatan girder, termasuk potensi bahaya tertimpa material apabila berada terlalu dekat dengan area pengangkatan. Dari berbagai faktor tersebut, faktor yang dipilih dalam pembahasan ini adalah kurangnya koordinasi dan rendahnya disiplin pekerja. Kedua faktor ini dipilih karena memiliki pengaruh yang paling langsung terhadap tingkat pengawasan dan kesadaran terhadap K3 di lapangan. Kurangnya koordinasi dapat menyebabkan informasi terkait prosedur keselamatan tidak tersampaikan secara jelas kepada seluruh pihak yang terlibat, sehingga pekerja tidak mendapatkan arahan keselamatan yang memadai sebelum

pekerjaan dimulai. Sementara itu, rendahnya disiplin pekerja dapat menyebabkan ketidakpatuhan terhadap aturan keselamatan kerja, seperti memasuki area pengangkatan girder yang seharusnya steril dari aktivitas pekerja. Dengan demikian, kedua faktor tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder pada pekerjaan *erection girder*.

- b) Selain pengawasan dan kesadaran keselamatan kerja, penggunaan alat pelindung diri (APD) serta alat pengaman kerja (APK) juga merupakan bagian penting dari penerapan manajemen K3 pada proyek konstruksi. APD dan APK berfungsi untuk memberikan perlindungan kepada pekerja dari berbagai potensi bahaya yang dapat terjadi selama proses pekerjaan berlangsung. Dalam pekerjaan *erection girder*, keberadaan APD dan APK sangat penting untuk melindungi pekerja dari risiko kecelakaan seperti tertimpa material, tertabrak alat berat, maupun bahaya lainnya di area kerja. Ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK dapat terjadi apabila pekerja tidak menggunakan APD yang telah ditentukan, menggunakan APD yang tidak sesuai dengan jenis pekerjaan, atau menggunakan APD yang tidak memenuhi standar keselamatan. Kondisi ini dapat mengurangi tingkat perlindungan pekerja terhadap potensi bahaya di lingkungan kerja. Dalam penelitian ini, ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK ditentukan melalui dua basic event, yaitu APD tidak sesuai standar serta APK tidak sesuai atau tidak tersedia di lokasi kerja. Penentuan basic event tersebut didasarkan pada kondisi yang sering terjadi di lapangan, di mana pekerja menggunakan APD yang tidak memenuhi standar keselamatan, seperti helm keselamatan yang tidak sesuai standar, sepatu pelindung yang tidak dirancang untuk pekerjaan konstruksi, atau penggunaan APD yang tidak lengkap. Kondisi tersebut dapat mengurangi efektivitas perlindungan terhadap risiko kecelakaan kerja. Budiman dkk. (2025) menyatakan bahwa penggunaan APD yang sesuai standar merupakan salah satu faktor penting dalam upaya pencegahan kecelakaan kerja

pada proyek konstruksi. *Basic event* lainnya adalah APK tidak sesuai atau tidak tersedia di lokasi kerja. Pada pekerjaan *erection girder*, APK seperti pembatas area pengangkatan, rambu keselamatan, serta pengamanan zona kerja sangat diperlukan untuk mencegah pekerja memasuki area berbahaya saat proses pengangkatan girder berlangsung. Apabila alat pengaman kerja tidak tersedia atau tidak dipasang dengan baik, maka pekerja dapat berada di bawah jalur pergerakan girder yang sedang diangkat oleh crane. Kondisi ini dapat meningkatkan risiko kecelakaan kerja berupa pekerja tertimpa girder apabila terjadi kegagalan pengangkatan atau pergerakan material yang tidak terkendali. Permasalahan ini juga berkaitan dengan tingkat disiplin pekerja dalam mematuhi aturan keselamatan kerja serta pengawasan dari pihak manajemen proyek. Penelitian menunjukkan bahwa disiplin kerja memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penerapan keselamatan dan kesehatan kerja di lingkungan proyek konstruksi. Oleh karena itu, apabila pekerja memiliki tingkat disiplin yang rendah dalam menggunakan APD serta pengawasan terhadap penggunaan APK kurang optimal, maka potensi terjadinya kecelakaan kerja akan semakin meningkat, khususnya kecelakaan yang berkaitan dengan bahaya material berat seperti girder pada proses *erection*.


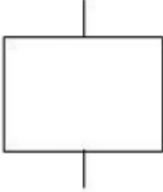

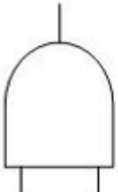
Dapat disimpulkan bahwa berbagai faktor yang telah diidentifikasi, baik faktor manusia, faktor lingkungan, faktor teknis, maupun faktor manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (K3), memiliki keterkaitan yang kuat dalam memengaruhi tingkat keselamatan pada pekerjaan *erection girder*. Faktor-faktor tersebut menunjukkan bahwa kecelakaan kerja pada proyek konstruksi tidak hanya disebabkan oleh satu penyebab tunggal, melainkan merupakan hasil dari interaksi berbagai kondisi yang terjadi di lapangan. Kurangnya keterampilan dan pengalaman pekerja, kondisi lingkungan seperti angin kencang dan hujan, metode pelaksanaan yang tidak sesuai prosedur, serta lemahnya penerapan manajemen K3 dapat meningkatkan potensi terjadinya kecelakaan kerja, termasuk peristiwa pekerja tertimpa girder pada proses pengangkatan dan pemasangan girder.

Dalam analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), terdapat beberapa *intermediate event* dan *basic event* yang tidak mengalami perubahan signifikan antara analisis kecelakaan pekerja terjatuh dari ketinggian dan pekerja tertimpa girder. Hal ini disebabkan karena kedua jenis kecelakaan tersebut terjadi dalam konteks pekerjaan yang sama, yaitu pekerjaan *erection girder*, sehingga memiliki kesamaan dalam faktor-faktor penyebab dasar yang memengaruhi tingkat keselamatan kerja. Oleh karena itu, beberapa *intermediate event* dan *basic event* tetap digunakan pada kedua analisis karena menggambarkan akar penyebab yang sama, seperti faktor manusia, kondisi lingkungan, metode kerja, serta sistem manajemen keselamatan yang diterapkan di proyek. Perbedaan utama dalam analisis hanya terletak pada jenis kejadian yang dijadikan sebagai *top event*, sedangkan sebagian besar faktor penyebab dasarnya tetap relevan karena berasal dari sistem kerja dan kondisi proyek yang sama.

5.2.4 Penggambaran *Fault Tree Analysis*

Pada sub bab ini dilakukan penggambaran grafik *Fault Tree Analysis* (FTA) berdasarkan *top event*, *intermediate event*, dan *basic event* yang telah ditentukan sebelumnya. Penggambaran diawali dengan memasukkan *top event*, kemudian dilanjutkan dengan *intermediate event* sampai dengan *basic event* yang sesuai dengan data yang diperoleh dalam perancangan permodelan. Dalam penyusunan grafik FTA, digunakan gerbang logika (*logic gate*) untuk menunjukkan hubungan antara satu kejadian dengan kejadian lainnya. Selain itu, digunakan notasi angka dan huruf guna mempermudah proses Analisa MOCUS (*Method For Obtaining Cut Set*) dalam mengidentifikasi akar permasalahan atau penyebab dasar dari risiko kecelakaan. Dalam penyusunan grafik FTA (*Fault Tree Analysis*) ini, digunakan simbol-simbol sebagaimana disajikan pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5. 3 Simbol *Fault Tree Analysis*

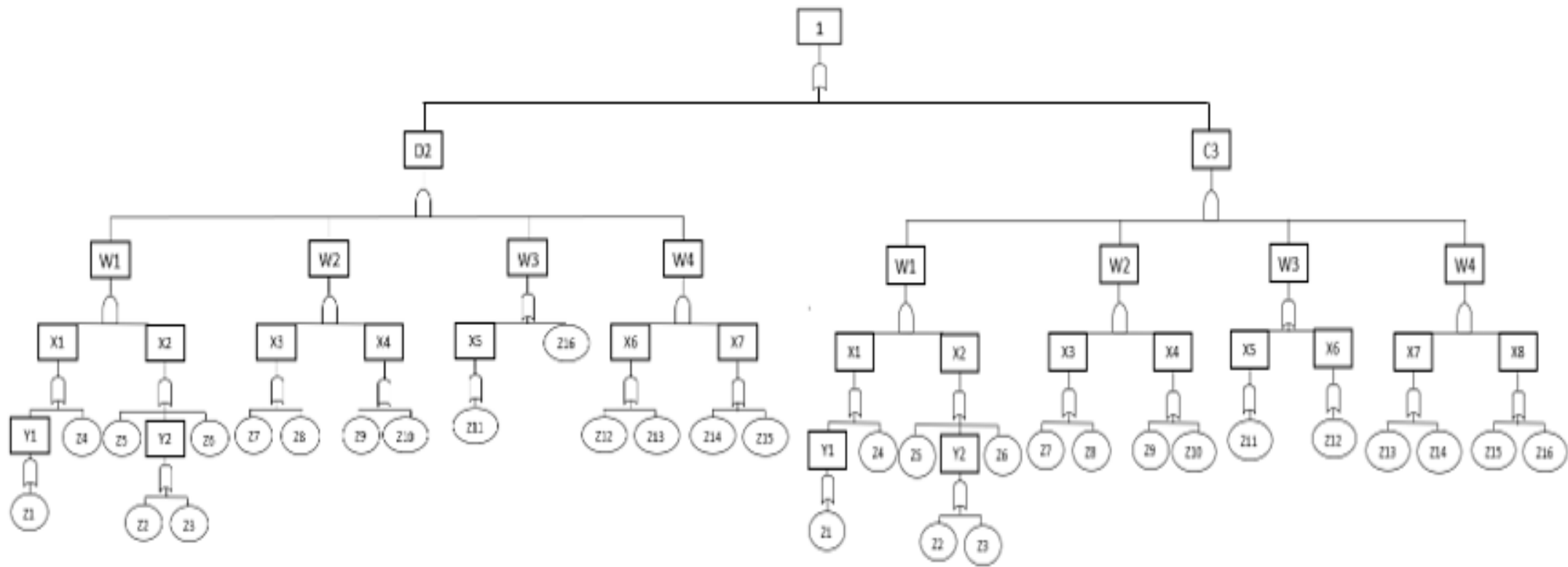
Simbol	Keterangan	Makna
	<i>Basic Event</i>	Kejadian kegagalan atau kesalahan mendasar pada suatu elemen sistem yang tidak dapat dianalisis lebih lanjut
	<i>Intermediate Event/Event Box</i>	Simbol ini digunakan tepat di atas kejadian utama untuk mengembangkan uraian mengenai kejadian kegagalan
	<i>Or Gate</i>	<i>Output</i> yang dihasilkan ketika terdapat input berupa <i>basic event</i> dengan simbol aljabar (+)
	<i>And Gate</i>	<i>Output</i> yang hanya akan terjadi apabila seluruh input terjadi (<i>input</i> tidak bergantung sumbernya) dengan symbol aljabar (x)

Top event merupakan kejadian puncak yang menggambarkan terjadinya suatu kecelakaan kerja atau bahaya yang berpotensi terjadi dalam suatu sistem. Pada penelitian ini, *top event* atau kejadian puncak yang di analisis adalah pekerja terjatuh dari ketinggian. Selanjutnya, *intermediate event* merupakan tahapan atau kejadian perantara yang menghubungkan antara *top event* dan *basic event*, sehingga hubungan antara peristiwa masih dapat diuraikan secara rinci. *Top event* dan *intermediate event* dilambangkan dengan simbol persegi panjang. Sementara itu, *basic event* didefinisikan sebagai kegagalan atau kesalahan paling mendasar,

sehingga dalam penggambaran FTA ditempatkan pada posisi paling bawah dan dilambangkan dengan simbol lingkaran.

Setelah menentukan *event* yang terjadi, langkah selanjutnya yaitu menentukan jenis gerbang logika (*logic gate*) yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antar kejadian. Gerbang *OR* digunakan apabila keluaran dapat terjadi akibat salah satu masukan, Dimana masukan tersebut merupakan kegagalan dasar atau *basic event*. Sementara itu, gerbang *AND* digunakan apabila keluaran hanya dapat terjadi apabila seluruh masukan yang saling berkaitan berkaitan terjadi secara bersamaan, dengan ketentuan bahwa masukan tersebut bukan merupakan sumber utama (*basic event*), melainkan berfungsi sebagai penghubung antara sesama *intermediate event* atau antara *intermediate event* dengan *top event*.

Berdasarkan penjelasan simbol-simbol tersebut, peneliti Menyusun dan menyesuaikan permodelan grafis pekerja terjatuh dari ketinggian sesuai ketentuan yang berlaku. Sehingga diperoleh diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 5. 2 Grafik *Fault Tree Analysis* (FTA) Pekerja Terjatuh dari Ketinggian

Berdasarkan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) di atas, maka didapatkan penjelasan mengenai notasi huruf dan angka yang digunakan dalam permodelan grafist. Uraian notasi tersebut dicantumkan pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5. 4 Deskripsi Notasi Huruf dan Angka Pekerja Terjatuh dari Ketinggian

No.	Notasi	Deskripsi	No.	Notasi	Deskripsi
1	D2	Pekerja terjatuh dari ketinggian	16	Z2	Kurang Istirahat
2	W1	Faktor Manusia	17	Z3	Faktor usia
3	W2	Faktor Lingkungan	18	Z4	Tidak adanya pengalaman
4	W3	Faktor Teknis	19	Z5	Dehidrasi
5	W4	Faktor Manajemen K3	20	Z6	Mengantuk
6	X1	Kurangnya keterampilan	21	Z7	Angin malam kencang
7	X2	Tidak fokus	22	Z8	Hujan
8	X3	Cuaca buruk	23	Z9	Kurangnya penerangan
9	X4	Area kerja terbatas	24	Z10	Lalu lintas tidak terkendali
10	X5	Peralatan belum layak digunakan	25	Z11	Alat belum uji riksa
11	X6	Minimnya pengawasan dan kesadaran	26	Z12	Kurangnya koordinasi
12	X7	Ketidak sesuaian penggunaan APD dan APK	27	Z13	Tidak disiplin
13	Y1	Kurang pendidikan	28	Z14	APD tidak sesuai standar
14	Y2	Kelelahan	29	Z15	APK tidak sesuai/tidak ada
15	Z1	Ekonomi yang lemah	30	Z16	Metode pelaksanaan tidak sesuai

Tabel 5. 5 Deskripsi Notasi Huruf dan Angka Pekerja Tertimpa Girder

No.	Notasi	Deskripsi	No.	Notasi	Deskripsi
1	C3	Pekerja tertimpa girder	17	Z2	Kurang Istirahat
2	W1	Faktor Manusia	18	Z3	Faktor usia
3	W2	Faktor Lingkungan	19	Z4	Tidak adanya pengalaman
4	W3	Faktor Teknis	20	Z5	Dehidrasi
5	W4	Faktor Manajemen K3	21	Z6	Mengantuk
6	X1	Kurangnya keterampilan	22	Z7	Angin malam kencang
7	X2	Tidak fokus	23	Z8	Hujan
8	X3	Cuaca buruk	24	Z9	Kurangnya penerangan
9	X4	Area kerja terbatas	25	Z10	Lalu lintas tidak terkendali
10	X5	Peralatan belum layak digunakan	26	Z11	Alat belum uji riksa
11	X6	Metode pelaksanaan tidak sesuai	27	Z12	Tidak ada SOP pengangkatan Girder
12	X7	Minimnya pengawasan dan kesadaran	28	Z13	Kurangnya koordinasi
13	X8	Ketidak sesuaian penggunaan APD dan APK	29	Z14	Tidak disiplin
14	Y1	Kurang pendidikan	30	Z15	APD tidak sesuai standar
15	Y2	Kelelahan	31	Z16	APK tidak sesuai/tidak ada
16	Z1	Ekonomi yang lemah			

5.2.5 Kombinasi *Basic Event*

Berdasarkan hasil penggambaran diagram *Fault Tree Analysis* (FTA), tahap selanjutnya adalah menentukan *cut set*. *Cut set* sendiri merupakan kombinasi kejadian yang menciptakan *fault tree analysis*, dimana apabila seluruh *cut set* terjadi, maka akan menyebabkan terjadinya peristiwa puncak. Selanjutnya dilakukan identifikasi minimal *cut set*, yaitu set minimal atau *cut set* yang telah dikurangi hingga tidak dapat disederhanakan lagi tanpa mengubah makna aslinya.

Penentuan *cut set* dan minimal *cut set* dilakukan menggunakan *Method For Obtaining Cut Sets* (MOCUS) dengan mengaplikasikan Hukum Aljabar Boolean.

Tahap awal akan dilakukan analisis *basic event* yang mengarah ke *top event* dengan cara mencari minimal *cut set* yang diperoleh dari hasil analisis menggunakan hukum Aljabar Boolean dengan sifat distributif. Dimana gerbang *OR* dilambangkan dengan simbol (+) dan gerbang *AND* dilambangkan dengan simbol (.) atau perkalian.

Tabel 5. 6 Cut Set Menggunakan Aljabar Boolean

D2	= W1.W2.W3.W4
W1	= X1.X2
W2	= X3.X4
W3	= X5+Z16
W4	= X6.X7
X1	= Y1+Z4
X2	= Z5+Y2+Z6
X3	= Z7+Z8
X4	= Z9+Z10
X5	= Z11
X6	= Z12+Z13
X7	= Z14+Z15
Y1	= Z1
Y2	= Z2+Z3

Tahap selanjutnya adalah menentukan kombinasi *event* yang menghasilkan bentuk akhir yang tidak dapat disederhanakan atau diminimalkan. Dari kombinasi tersebut diperoleh kejadian utama yang menjadi penyebab terjadinya peristiwa puncak (*top event*). Berikut kombinasi *event* yang dihasilkan.

$$\begin{aligned}
 D2 &= W1.W2.W3.W4 \\
 &= (X1.X2).(X3.X4).(X5+Z16).(X6.X7) \\
 &= ((Y1+Z4).(Z5+Y2+Z6)).((Z7+Z8).(Z9+Z10)).((Z11)+(Z16)).((Z12+
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& Z13).(Z14+Z15)) \\
& = (((Z1)+(Z4)).((Z5)+(Z4+Z3)+(Z6)).((Z7+Z8)).((Z9+Z10)).((Z11)+(Z16) \\
& \quad).((Z12+Z13)).((Z14+Z15))) \\
& = (Z1+Z4).(Z2+Z3+Z5+Z6).(Z7+Z8).(Z9+Z10).(Z11+Z16).(Z12+Z13) \\
& \quad .(Z14+Z15)
\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil kombinasi *event* dengan menggunakan prinsip Aljabar Boolean, diperoleh sebanyak 7 minimal *cut set* yang dapat memicu terjadinya *top event*. Pada permodelan *Fault Tree Analysis* (FTA) sebelumnya, teridentifikasi 16 *basic event* sebagai sumber risiko. Melalui penerapan metode MOCUS (*Method For Obtaining Cut Sets*) dan hukum Aljabar Boolean, peneliti memperoleh 7 kombinasi kegagalan.

5.2.6 Validasi Data FTA (*Fault Tree Analysis*)

Pada sub bab ini, dilakukan proses validasi terhadap model *Fault Tree Analysis* (FTA) yang telah disusun guna untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi dan potensi risiko yang terdapat pada pekerjaan yang dianalisis. Berdasarkan hasil kombinasi kegagalan yang diperoleh, dapat diidentifikasi faktor-faktor penyebab terjadinya kegagalan sistem, selanjutnya dirumuskan Upaya pengendalian risiko yang relevan untuk masing-masing peristiwa. Hasil analisis dan pengendalian risiko dicantumkan dalam Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Analisis Kombinasi Kegagalan dan Pengendalian Risiko

No.	Kombinasi Event	Deskripsi	Pengendalian Risiko
1.	Z1, Z4	Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal itu dapat disebabkan oleh lemahnya ekonomi	<ul style="list-style-type: none"> • Menyelenggarakan <i>workshop</i> atau pelatihan mengenai erection girder dan APD yang benar • Penempatan posisi kerja harus

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Analisis Kombinasi Kegagalan dan Pengendalian Risiko

No.	Kombinasi Event	Deskripsi	Pengendalian Risiko
		pekerja dan tidak adanya pengalaman, sehingga kurangnya keterampilan.	d disesuaikan dengan kompetensi dan pengalaman yang dimiliki oleh setiap pekerja
2.	Z2, Z3, Z5, Z6	Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal ini dikarenakan oleh faktor pekerja yang kelelahan akibat kurang istirahat dan faktor usia. Dan juga dehidrasi dan mengantuk karena bekerja pada malam hari yang menyebabkan pekerja menjadi tidak fokus saat bekerja.	<ul style="list-style-type: none"> • Menerapkan shift kerja • Melakukan Toolbox Meeting sebelum memulai pekerjaan • Melarang pekerja yang dalam kondisi tidak fit untuk bekerja • Menyediakan air minum yang cukup saat melaksanakan pekerjaan
3.	Z7, Z8	Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja jatuh dari ketinggian. Hal ini dapat disebabkan oleh cuaca yang buruk seperti hujan dan angin malam yang kencang.	<ul style="list-style-type: none"> • Pengecekan perkiraan cuaca melalui BMKG dan menghentikan pekerjaan apabila terjadi angin kencang dan hujan lebat jika kondisi membahayakan • Menggunakan Barometer untuk mengukur kecepatan angin

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Analisis Kombinasi Kegagalan dan Pengendalian Risiko

No.	Kombinasi Event	Deskripsi	Pengendalian Risiko
			<ul style="list-style-type: none"> • Menggunakan APD dan APK lengkap dan memastikan tetap aman dan tidak licin
4.	Z9, Z10	<p>Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor lingkungan di area kerja yaitu kurangnya penerangan dan lalu lintas yang tidak terkendali.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menerapkan manajemen lalu lintas sementara • Membatasi area kerja dengan road barrier • Menggunakan rompi reflektif dikarenakan bekerja di malam hari • Menambahkan lampu sorot di area girder dan titik kerja di ketinggian
5.	Z11, Z16	<p>Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerjaterjatuh dari ketinggian. Hal ini dapat terjadi akibat faktor teknis yaitu metode pelaksanaan dan alat belum uji riksa sehingga alat belum layak untuk digunakan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Menghentikan pekerjaan apabila ditemukan ketidaksesuaian metode kerja • Mengganti alat • Melakukan uji riksa sebelum melakukan pekerjaan
6.	Z12, Z13	<p>Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal ini bisa</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Memberi sanksi terhadap pelanggaran prosedur K3

Lanjutan Tabel 5.6 Hasil Analisis Kombinasi Kegagalan dan Pengendalian Risiko

No.	Kombinasi Event	Deskripsi	Pengendalian Risiko
		diakibatkan oleh minimnya pengawasan dan kesadaran dikarenakan tidak disiplin dan kurangnya koordinasi	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan <i>Toolbox Meeting</i> sebelum memulai pekerjaan • Peningkatan pengawasan lapangan oleh HSE dan supervisor
7.	Z14, Z15	Pada pekerjaan <i>Erection Girder</i> terdapat potensi risiko kecelakaan kerja yaitu pekerja terjatuh dari ketinggian. Hal ini dapat terjadi akibat ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK	<ul style="list-style-type: none"> • Melakukan pemeriksaan APD dan APK sebelum dan sesudah pekerjaan • Mengganti APD dan APK yang tidak sesuai • Mewajibkan penggunaan full body harness dan dikaitkan di lifeline saat bekerja di ketinggian

Berdasarkan penjelasan dari table di atas, dapat dilihat kombinasi kegagalan yang diperoleh beserta upaya pengendalian risiko yang sesuai untuk masing-masing kegagalan tersebut. Terdapat 7 kombinasi kegagalan, Dimana setiap kombinasi kegagalan memiliki beberapa pengendalian risiko. Pengendalian risiko tersebut selanjutnya dikelompokkan berdasarkan tingkatan hierarki pengendalian risiko yang disusun dalam bentuk segitiga terbalik sebagaimana telah dibahas secara umum pada bab 3. Pembahasan lebih lanjut mengenai pengendalian risiko tersebut dibahas pada sub bab pembahasan.

5.3 Pembahasan

Penelitian ini dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2 yang berlangsung pada bulan November Tahun 2025. Ruang lingkup penelitian hanya difokuskan pada pekerjaan *erection girder* selama pekerjaan berlangsung. Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan serta wawancara dengan pihak terkait, diketahui bahwa hingga saat penelitian dilakukan belum pernah terjadi kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis risiko kecelakaan kerja pada pekerja yang berpotensi terjadi pada pekerjaan *erection girder* guna mengidentifikasi faktor penyebab serta upaya pengendalian risiko yang tepat.

Bentuk permodelan grafis *Fault Tree Analysis* (FTA) yang telah di lampirkan pada Gambar 5.2 disusun dengan menempatkan *top event* pada posisi paling atas, yaitu risiko kecelakaan kerja yang menjadi fokus penelitian. Struktur grafis kemudian dikembangkan ke arah bawah berdasarkan hubungan sebab–akibat yang logis dan sistematis sesuai dengan prinsip FTA. Setiap percabangan merepresentasikan kejadian antara (*intermediate event*) yang menggambarkan kelompok faktor penyebab utama, seperti faktor manusia, teknis, lingkungan, dan manajemen K3. Hubungan antar peristiwa ditentukan menggunakan gerbang logika *AND* dan *OR*, yang mencerminkan apakah suatu kejadian dapat terjadi akibat satu atau kombinasi beberapa kejadian lainnya.

Penentuan *basic event* ditempatkan pada bagian paling bawah dari diagram sebagai penyebab paling mendasar yang tidak dapat diuraikan lebih lanjut. *Basic event* tersebut ditetapkan berdasarkan hasil observasi lapangan, wawancara, serta kajian literatur yang relevan dengan pekerjaan *erection girder*. Dengan susunan grafis seperti ini, alur keterkaitan antara *basic event*, *intermediate event*, hingga *top event* dapat terlihat secara jelas, sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi akar penyebab risiko kecelakaan kerja serta menjadi dasar dalam penentuan *cut set* dan *minimum cut set* pada tahap analisis selanjutnya

Berdasarkan hasil wawancara dan pengamatan di lapangan, risiko kecelakaan kerja yang teridentifikasi ditetapkan sebagai *top event* dalam *Fault Tree Analysis*

(FTA). *Top event* merupakan kejadian puncak yang ditentukan berdasarkan potensi kegagalan yang dapat terjadi pada suatu sistem kerja. Pada penelitian ini, *top event* yaitu kecelakaan kerja pada tenaga kerja kemudian diturunkan dua jenis risiko kecelakaan utama yang memiliki potensi tinggi terjadi pada pekerjaan *erection girder*, yaitu pekerja tertimpa girder dan pekerja terjatuh dari ketinggian. Tahapan selanjutnya adalah penentuan *basic event*, yaitu kejadian dasar yang berpotensi memicu terjadinya *top event*. *Basic event* tersebut merupakan akar permasalahan yang bersumber dari faktor manusia, lingkungan, teknis, dan manajemen K3, yang diperoleh melalui hasil wawancara dengan narasumber serta didukung oleh studi literatur.

Setelah *basic event* ditetapkan, peneliti menyusun permodelan grafis *Fault Tree Analysis* (FTA) sesuai dengan sub bab yang telah dijelaskan. Selanjutnya, setiap kejadian dalam model grafis diberi notasi berupa huruf dan angka untuk mempermudah proses penentuan *minimum cut set*. Peneliti juga menetapkan penggunaan gerbang logika (*logic gate*) antar peristiwa sesuai dengan hubungan kausal dalam model yang disusun. Setelah notasi dan gerbang logika ditentukan, grafik FTA disusun secara lengkap dan dilanjutkan dengan analisis *minimum cut set* menggunakan prinsip Aljabar Boolean.

5.4 Pengendalian Risiko

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan pada subbab sebelumnya, teridentifikasi 4 faktor utama kegagalan yang berkontribusi terhadap terjadinya risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan *erection girder*. Selanjutnya, akar penyebab dari masing-masing faktor kegagalan tersebut dianalisis dan dirumuskan upaya pengendalian risiko yang sesuai. Penentuan strategi pengendalian risiko dilakukan dengan mengacu pada hierarki pengendalian risiko sebagaimana telah dijelaskan pada Bab III, yang diuraikan sebagai berikut:

1. Faktor Manusia
 - a. Lemahnya kondisi ekonomi pekerja dapat menyebabkan rendahnya tingkat pendidikan dan minimnya pengalaman kerja, sehingga tingkat

keterampilan rendah. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- 1) Menyelenggarakan workshop atau pelatihan mengenai *erection girder* dan mengenai APD yang benar, guna untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan para pekerja
- 2) Penempatan posisi kerja harus disesuaikan dengan kompetensi dan pengalaman yang dimiliki oleh setiap pekerja

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, pengendalian 1 dan 2 termasuk dalam pengendalian administratif, karena bertujuan mengatur cara kerja dan meningkatkan kemampuan pekerja tanpa menghilangkan sumber bahaya secara langsung.

- b. Pekerja tidak fokus saat bekerja akibat kelelahan dikarenakan kurangnya istirahat dan faktor usia, juga akibat dehidrasi serta rasa mengantuk karena pekerjaan dilakukan pada malam hari. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil Adalah sebagai berikut:

- 1) Menerapkan shift kerja
- 2) Melakukan *Toolbox Meeting* sebelum memulai pekerjaan
- 3) Melarang pekerja yang dalam kondisi tidak fit untuk bekerja
- 4) Menyediakan air minum yang cukup saat melaksanakan pekerjaan

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, ketiga pengendalian tersebut masuk ke dalam pengendalian administratif, karena berfokus pada pengaturan sistem kerja dan perilaku pekerja guna meminimalkan risiko kecelakaan kerja

2. Faktor Lingkungan

- b. Kondisi cuaca yang buruk seperti angin malam yang kencang dan hujan. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil Adalah sebagai berikut:

- 1) Pengecekan perkiraan cuaca melalui BMKG dan menghentikan pekerjaan apabila terjadi angin kencang dan hujan lebat jika kondisi membahayakan
- 2) Menggunakan Barometer untuk mengukur kecepatan angin

- 3) Menggunakan APD dan APK lengkap dan memastikan tetap aman dan tidak licin

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, pengendalian risiko nomor 1 termasuk dalam hierarki pengendalian risiko administratif, karena merupakan pengaturan prosedur dan pengambilan keputusan untuk mengendalikan risiko akibat cuaca. Sedangkan pengendalian risiko nomor 2 termasuk dalam pengendalian Alat Pelindung Diri (APD), karena bertujuan memberikan perlindungan langsung kepada pekerja selama pelaksanaan pekerjaan

- c. Area kerja terbatas meliputi kurangnya penerangan serta kondisi lalu lintas tidak terkendali. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

- 1) Menerapkan manajemen lalu lintas sementara
- 2) Membatasi area kerja dengan road barrier
- 3) Menggunakan rompi reflektif dikarenakan bekerja di malam hari
- 4) Menambahkan lampu sorot di area girder dan titik kerja di ketinggian

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, pengendalian risiko nomor 1 termasuk dalam pengendalian administratif, karena mengatur sistem prosedur lalu lintas. Pengendalian nomor 2 dan 4 termasuk dalam pengendalian rekayasa teknik, karena kedua pengendalian tersebut bertujuan mengendalikan risiko melalui perubahan fisik pada lingkungan kerja untuk meningkatkan keselamatan kerja. Kemudian pengendalian nomor 3 termasuk dalam pengendalian APD, karena berfungsi melindungi pekerja secara langsung akibat keterbatasan visibilitas pada pekerjaan malam hari.

3. Faktor Teknis

- a. Penggunaan alat yang belum layak digunakan serta metode pelaksanaan yang tidak sesuai. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil Adalah sebagai berikut:

- 1) Menghentikan pekerjaan apabila ditemukan ketidaksesuaian metode kerja

- 2) Mengganti alat
- 3) Melakukan uji riksa sebelum melakukan pekerjaan

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, pengendalian risiko nomor 1 dan 3 termasuk dalam pengendalian administratif, karena bentuk pengendalian melalui prosedur, pengawasan, dan kebijakan kerja yang bertujuan memastikan pekerjaan hanya dilakukan dengan metode dan alat yang telah memenuhi persyaratan keselamatan. Sedangkan penilaian risiko nomor 2 termasuk dalam pengendalian substitusi, karena menggantikan alat yang tidak layak dengan alat yang layak dan aman serta memenuhi standar keselamatan kerja.

4. Faktor Manajemen K3

a. Minimnya pengawasan dan kesadaran dikarenakan kurangnya koordinasi dan tidak disiplin. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil Adalah sebagai berikut:

- 1) Memberi sanksi terhadap pelanggaran prosedur K3
- 2) Melakukan *Toolbox meeting* sebelum memulai pekerjaan
- 3) Peningkatan pengawasan lapangan oleh HSE

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, ketiga pengendalian risiko tersebut termasuk dalam pengendalian administratif, karena berfokus pada pengaturan sistem kerja, perilaku, dan koordinasi manusia, sehingga dapat meningkatkan kedisiplinan, efektivitas pengawasan, serta kesadaran pekerja dalam menerapkan prosedur keselamatan kerja

b. Ketidaksesuaian penggunaan APD dan APK. Dengan demikian, Langkah-langkah pengendalian risiko yang dapat diambil Adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan pemeriksaan APD dan APK sebelum dan sesudah pekerjaan
- 2) Mengganti APD dan APK yang tidak sesuai
- 3) Mewajibkan penggunaan *full body harness* dan dikaitkan di *lifeline* saat bekerja di ketinggian

Berdasarkan hierarki pengendalian risiko, pengendalian risiko nomor 1 termasuk dalam pengendalian administratif, karena bertujuan memastikan

kepatuhan terhadap prosedur keselamatan serta mendeteksi sejak dini kerusakan atau ketidaksesuaian peralatan, sehingga penggunaan APD dan APK tetap sesuai standar keselamatan kerja. Untuk pengendalian nomor 2 termasuk pengendalian substitusi, karena dilakukan dengan mengganti peralatan yang sudah rusak atau tidak layak dengan peralatan yang lebih aman dan memenuhi persyaratan teknis. Kemudian pengendalian nomor 3 termasuk pengendalian Alat Pelindung Diri (APD), Karena memberikan perlindungan langsung kepada pekerja dari risiko jatuh dan meminimalkan tingkat keparahan cedera apabila terjadi kecelakaan kerja.

Berdasarkan hasil identifikasi kegagalan yang telah dilakukan, dapat dilakukan pengendalian resiko berdasarkan kegagalan yang terjadi. Penentuan pengendalian risiko tersebut diperoleh melalui hasil diskusi antara peneliti dengan HSE. Setelah pengendalian risiko ditetapkan, langkah selanjutnya adalah mengelompokkan risiko sesuai dengan tingkatannya berdasarkan prinsip hierarki pengendalian risiko, sehingga urutan pengendalian dapat diketahui berdasarkan tingkat efektivitasnya.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan mengenai analisis risiko kecelakaan kerja pada pekerjaan erection girder menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) di Proyek Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo Seksi 2 Paket 2.2, didapatkan Kesimpulan sebagai berikut:

1. Potensi risiko kecelakaan kerja utama (*top event*) yang teridentifikasi dan memiliki dampak paling fatal pada pekerjaan *erection girder* adalah pekerja terjatuh dari ketinggian dan pekerja tertimpa girder. Hal ini menjadi fokus utama karena pekerjaan dilakukan pada malam hari dan pada area elevasi tinggi yang memiliki tingkat bahaya signifikan.
2. Melalui pemodelan FTA, ditemukan bahwa akar permasalahan (*basic event*) yang dapat memicu kecelakaan tersebut berasal dari empat faktor utama:
 - a. Faktor Manusia
Kelelahan akibat kurang istirahat, faktor usia, dehidrasi, serta kurangnya pengalaman dan keterampilan pekerja.
 - b. Faktor Lingkungan
Cuaca buruk (angin kencang dan hujan), kurangnya intensitas penerangan di area kerja malam, dan kondisi lalu lintas di sekitar area proyek yang tidak terkendali.
 - c. Faktor Teknis
Penggunaan alat yang belum melalui uji riksa (belum layak) serta metode pelaksanaan yang tidak sesuai dengan standar prosedur.
 - d. Faktor Manajemen K3
Kurangnya koordinasi antar tim, kedisiplinan pekerja yang rendah, serta pengawasan lapangan yang belum maksimal oleh petugas HSE.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dipaparkan, saran yang dapat diberikan untuk perbaikan di masa mendatang adalah sebagai berikut:

1. Manajemen proyek disarankan untuk meningkatkan efektivitas sistem manajemen K3 melalui pemenuhan sarana kerja sesuai standar Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 10 Tahun 2021, khususnya dalam penyediaan pencahayaan tambahan (*tower lamp*) untuk kerja malam dan memastikan setiap alat berat telah memiliki sertifikat uji riksa (SIA/SIO) yang valid sebelum operasional. Selain itu, diperlukan pengetatan pengawasan lapangan serta pemberian edukasi berkelanjutan bagi pekerja mengenai penggunaan *full body harness* yang tepat pada titikambat yang aman guna meminimalkan risiko fatalitas akibat jatuh dari ketinggian.
2. Peneliti selanjutnya dapat mengembangkan cakupan penelitian dengan mengintegrasikan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dengan metode kuantitatif lainnya atau metode komparatif seperti *Job Safety Analysis* (JSA) dan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mendapatkan data probabilitas kegagalan yang lebih presisi. Selain itu, disarankan untuk memperluas variabel penelitian pada faktor psikologis dan beban kerja mental pekerja guna melengkapi analisis mengenai faktor manusia (*human factor*) yang menjadi salah satu akar penyebab kecelakaan kerja dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhir, T., Studi, P., Sipil, T., Sarjana, P., Teknik, F., Dan, S., Indonesia, U.I., 2024. Analisis Keselamatan Kerja Pada Pekerjaan Dinding Abutment Menggunakan Metode Event Tree Analysis (ETA) (Studi Kasus Proyek Pembangunan Jalan Tol Jogja – Bawen Seksi 1) (Occupational Safety Analysis on Abutment Wall Works Using the Event Tree Analysis).
- Akmalia, R. R. et al. (2018). Hubungan Karakteristik Pekerja dan Lingkungan Kerja dengan Kejadian Kecelakaan Kerja di PT. Waskita Karya (Persro). *Journal of Industrial Hygiene and Occupational Health*, 3(1), 1–12.
- Andriani, W., Nurhadi, N. dan Subiyanto, S. 2022. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kecelakaan Kerja pada Proyek Konstruksi di Indonesia: Literature Review. *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja dan Lingkungan*, 3(2), pp.112–121.
- Aprilia, D., & Ramadhan, A. 2021. Efforts to Control Potential Hazards of Working at Height at a Gresik Fertilizer Company, Indonesia. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 10(3), pp.331-342.
- Arifin, Z., 2021. Pengantar Manajemen Proyek. Pendidikan 1.1-1.31.
- Arman, U.D., Melasari, J. & Suwanda, A.R., 2022. Identifikasi penyebab kecelakaan kerja konstruksi menggunakan Accident Root Cause Tracing Model (ARCTM) dan Fault Tree Analysis (FTA). *Cantilever*, 11(1), pp.17–28.
- Azzakiyah, N.N., Zhafira, E., Rajiman, and Dwiyan, P.A., 2025. Analisis risiko kecelakaan kerja pada proyek gedung bertingkat menggunakan metode severity index dan construction safety analysis. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 8(4), pp.1127–1140.
- Bhatti, M. 2015. Hazards and Risks of Construction Projects. *LinkedIn*. <https://www.linkedin.com/pulse/hazards-risks-construction-projects-muhammad-bukhsh-bhatti>

- Budiman, F.A., Aldora, I.F. & Nuryanto, F.M. (2025) 'Literature review: Faktor yang mempengaruhi penggunaan alat pelindung diri (APD) dalam pencegahan kecelakaan kerja pada konstruksi', *Jurnal Teknik Sipil (JTSIP)*, 4(1), hlm. 6–14.
- Damayanti, A. (2021) Sistem Manajemen K3 (SMK3) pada pekerjaan erection PC-I girder jembatan bentang 40 meter menggunakan metode HIRARC dan FTA di PT Adhi Karya (Persero) Tbk Proyek Jalan dan Jembatan Desa Bululawang, Kec. Bakung, Kab. Blitar, Jawa Timur. [Tugas Akhir atau Laporan Penelitian] Universitas Pertamina. <https://library.universitaspertamina.ac.id/xmlui/handle/123456789/5084>
- Dharmayanti, G.A.P.C., Pramana, G.N.P.S., 2020. Kendala Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) pada Kontraktor di Bali. *J. Tek. Sipil* 15, 12–18. <https://doi.org/10.24002/jts.v15i1.3146>
- Djamal, N. and Azizi, R., 2015. Identifikasi dan rencana penyebab delay produksi melting proses dengan konsep Fault Tree Analysis (FTA) di PT. XYZ. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*, 1(1), pp.34-45
- Firdaus, F., & Erwandi, D. (2023). Kajian literatur: Faktor penyebab kecelakaan jatuh dari ketinggian di sektor konstruksi. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 4(2), 1–8. <https://doi.org/10.31004/jkt.v4i2.15650>
- Friyandary, B., Ihsan, T., Lestari, R.A., 2020. Kajian Literatur Analisis Risiko Keselamatan Kerja dengan Metode Kualitatif pada Proyek Konstruksi di Indonesia: Sebuah Review. *Media Kesehat. Masy. Indones.* 19, 331–344. <https://doi.org/10.14710/mkmi.19.5.331-344>
- Hasibuan, A. & Kurniawan, B., 2020. Pengaruh kondisi lingkungan kerja terhadap risiko kecelakaan pada proyek konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), pp. 115–122
- Imron, J., Pinto, G. & Hawari, Y., 2023. Penerapan keselamatan kesehatan kerja dengan metode riksa uji pada forklift model FD30N (Caterpillar) di PT. XYZ. *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, 3(3), pp.174–189
- Ismael, I., 2013. Keterlambatan Proyek Konstruksi Gedung Faktor Penyebab dan Tindakan Pencegahannya Oleh. *Februari J. Momentum* 14, 46–56.

- Iqbal, A.F. & Feri, H., 2014. Pengaruh perilaku tenaga kerja dan lingkungan kerja yang dimoderasi faktor pengalaman kerja dan tingkat pendidikan terhadap kecelakaan kerja konstruksi di Surabaya. Prosiding Seminar Nasional X Teknik Sipil ITS 2014, Surabaya.
- Juliana, A.P., Purnomo, A. and Berliana, R., 2023. Pelaksanaan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) pada proyek konstruksi pembangunan gedung kantor. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), pp.29591–29599
- Juliano, R.R., 2020. Departemen Teknik Sipil Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Pada Proyek Tol Jakarta-Cikampek Jilid Ii Elevated.
- Kadang, Z., Arungpadang, T.A.R., Neyland, J.S.C., 2023. Implementasi Metode Fault Tree Analysis Dalam Meminimalkan Risiko Kecelakaan Kerja Pada Perawatan Rubber Tyred Gantry Di Terminal Peti Kemas Pt.Pelindo Iv Bitung. *J. Tekno Mesin* 9, 73–84. <https://doi.org/10.35793/jtm.v9i2.49195>
- [Kompas.com](https://www.kompas.com). 2018. SOP Belum Dipenuhi, Penyebab Maraknya Kecelakaan Konstruksi. *Kompas.com*, 27 Januari 2018. <https://properti.kompas.com/read/2018/01/27/140000221/sop-belum-dipenuhi-penyebab-maraknya-kecelakaan-konstruksi>
- Mamahit, B., Kushartomo, W. and Prabowo, A., 2023. Penilaian penggunaan perancah bagi keselamatan dan kesehatan kerja. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 6(3), pp.619–626.
- Mayandari, W.R. & Inayah, Z., 2023. Faktor dominan yang mempengaruhi kecelakaan kerja terhadap kejadian kecelakaan pada pekerja konstruksi. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*.
- M. Zaenal Anshori, Tranggono Tranggono, 2024. Analisis Manajemen Risiko Keselamatan & Kesehatan Kerja (K3) Menggunakan Metode HIRADC Pada Pekerjaan Konstruksi Gedung di PT.XYZ. *J. Kendali Tek. dan Sains* 2, 205–221. <https://doi.org/10.59581/jkts-widyakarya.v2i1.2512>
- Matsura Labombang, 2011. Manajemen Risiko Dalam Proyek. *SMARTek* 9, 39–46.

- National Institute for Occupational Safety and Health, 2015. Hierarchy of Controls. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/hierarchy/default.html>
- NIH. 2023. Exhibit 1: Causes of fall from height accidents in building construction. *National Institutes of Health*. Tersedia: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10724537/>
- Nurhidayatullah, E.F. and Kurniyawan, T., 2023. Analisis Perbandingan Struktur Jembatan Tipe I-Girder dengan U-Girder Beton Prategang. *Jurnal Rekayasa dan Inovasi Teknik Sipil (RENOVASI)*, 8(1), pp.6-14
- Nur, M., 2018. Analisis Kecelakaan Kerja dengan Menggunakan Metode FTA Dan 5s di PT. Jingga Perkasa Printing. *J. Tek. Ind. J. Has. Penelit. dan Karya Ilm. dalam Bid. Tek. Ind.* 4, 55. <https://doi.org/10.24014/jti.v4i1.6038>
- Pramesti, A.A., Rachmawati, F., 2023. Analisis Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Yogyakarta - Bawen Paket 1 (Seksi 1) Menggunakan Metode Bowtie. *J. Tek. ITS* 12, 2–7. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i2.126131>
- Putri, A.D. & Widajati, N., 2017. Hubungan stres kerja dengan kejadian kecelakaan kerja pada pekerja konstruksi. *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health*, 6(2), pp. 180–188
- Putri, D.N. & Lestari, F., 2023. Analisis penyebab kecelakaan kerja pada pekerja di proyek konstruksi: Literature review. *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*
- Rahayu, P.H., 2001. Asuransi Contractor's All Risk sebagai Alternatif Pengalihan Risiko Proyek Dalam Industri Konstruksi Indonesia. Seminar Nasional Manajemen Konstruksi 2001, Fakultas Teknik Katolik Universitas Parahyangan, Bandung
- Ramadhan Syahriadi, Tenriajeng, A.T., 2020. Analisis Manajemen Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Lingkungan Mutu Proyek Jalan Tol Dan Jembatan Pada Pt. Utama Karya Infrastruktur Di Kota Depok. *J. TESLINK Tek. Sipil dan Lingkung.* 2, 18–28. <https://doi.org/10.52005/teslink.v2i2.50>
- Ramdan, I.M. & Handoko, H., 2016. Kelelahan kerja pada pekerja konstruksi dan

hubungannya dengan kejadian kecelakaan kerja. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 11(2), pp. 193–201.

Rani, H.A., 2016. *Manajemen Proyek Konstruksi* 99.

Ratnaningsih, A., Salim, B.S., Salim, B.S., Arifin, S., Arifin, S., 2024. Analisis Akar Penyebab Risiko K3 Pelaksanaan Pekerjaan Abutment dan Pemasangan Girder Metode Fault Tree Analysis (FTA) Proyek Tol Solo – NYIA Kulon Progo. *Teras J. J. Tek. Sipil* 14, 279. <https://doi.org/10.29103/tj.v14i1.1078>

Relawati, W. (2018). *Assesment Manajemen Risiko Teknis Konstruksi pada Proyek High Rise Building dengan Metode (Fault Tree Analysis) FTA (Studi Kasus Proyek Caspian Tower Grand Sungkono Lagoon)*. Tugas Akhir. Universitas Jember. Jember

Ricky, S. 2018. *Identifikasi Resiko Kecelakaan Konstruksi Menggunakan Teori Kendala Respons Studi Kasus: Kegagalan Erection Girder*. Diploma thesis, Universitas Andalas.

Rosita, E., Walangitan, D.R.O., Malingkas, G.Y., 2023. Analisis Efektivitas Pengendalian Risiko Kecelakaan Kerja pada Proyek Konstruksi dengan Metode Fine dan Fault Tree Analysis pada Pembangunan Christian Center Tahap II. *Tekno* 21, 247–258.

Sugiyono, 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*

Sugiyono, 2023. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*

Sulistyaningtyas, N., 2021. Analisis faktor-faktor penyebab kecelakaan akibat kerja pada pekerja konstruksi: literature review. *Journal of Health Quality Development*, 1(1), pp.51–59.

Suraji, Akhmad. A. Roy Duff ; Stephen J. Peckitt. (2001). Development of Causal Model of Construction Accident Causation, *Journal of Construction Engineering and Management*, July-August 2001 pp. 343.

Sutrisno, E. & Wibowo, A., 2018. Analisis faktor lingkungan terhadap kecelakaan kerja pada proyek konstruksi. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 12(1), pp. 45–52

Taufiq, T.R.M., 2023. Analisis Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan

Erection Girder dengan menggunakan Metode Fault Tree Analysis (Studi Kasus: Proyek Konstruksi Overpass Tol Pasuruan-Probolinggo) 1–77.

Thomas J. Henry Law. 2017. Hazards in Construction: What Factors Make an Unsafe Construction Workplace? <https://www.tjhlaw.com/blog/factors-make-unsafe-construction-workplace/>

Umar, A.R., Naibaho, P.R.T., Jagakarsa, U.T. and Selatan, J.C., 2022a. Analisa Perbandingan Pelaksanaan Erection Girder Underpass pada Jalan Nasional dengan Metode Crane dan Metode Launcher. *Asian Journal of Mechatronics and Electrical Engineering (AJMEE)*, 1(1).

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Sertifikasi Ahli K3

No.: Ser.16. 6419/AK3/U/X/2016



KEMENTERIAN KETENAGAKERJAAN R.I.
MINISTRY OF MANPOWER OF THE REPUBLIC OF INDONESIA

DIREKTORAT JENDERAL PEMBINAAN PENGAWASAN KETENAGAKERJAAN DAN KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
DIRECTORATE GENERAL OF LABOUR INSPECTION DEVELOPMENT AND OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

Sertifikat

Certificate

diberikan kepada :
awarded to

N a m a <small>Name</small>	: Dody Hadi Prabowo
Tempat, tanggal lahir <small>Place and date of birth</small>	: Madiun, 14 September 1991
Perusahaan <small>Company</small>	: PT. Adhiwira Cipta Nusantara
A l a m a t <small>Address</small>	: Perum Kepuh Permai K-13 Kepuh Kembang Peterongan Jombang

TELAH MENGIKUTI
has successfully followed

PEMBINAAN PENGAWASAN NORMA KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
The Supervision Development of Occupational Safety and Health Norms

diselenggarakan oleh
conducted by

PT. Adhiwira Cipta Nusantara
 di ACN's Meeting Room - Jombang
in ACN's Meeting Room - Jombang

pada tanggal 19 September - 01 Oktober 2016
on September 19 until October 01, 2016

Pemegang Sertifikat ini memenuhi persyaratan sebagai
The holder of this certificate has fulfilled the requirements as

Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Occupational Safety and Health Expert

sesuai Peraturan Menteri Tenaga Kerja R.I. Nomor Per. 02/Men/1992 tentang Tata Cara Penunjukan, Kewajiban dan Wewenang Ahli Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
according to the Regulation of the Minister of Manpower of the Republic of Indonesia Number Per.02/Men/1992 concerning the Procedures of Appointment, Obligations and Authority of Occupational Safety and Health Experts



Jakarta, 24 Oktober 2016
Jakarta, October 24, 2016

A.n. Direktur Jenderal
Pembinaan Pengawasan Ketenagakerjaan dan K3
On behalf of Director General of Labour Inspections Development and Occupational Safety and Health

Direktur Pengawasan Norma Keselamatan dan Kesehatan Kerja
Director of Occupational Safety and Health Norm Supervision



Ir. Amri AK, MM
 NIP. 19571204 198603 1 003

No.Reg. 34194/PK3/AJ/33/2016/PO

SI . NK . 12 : 000015767

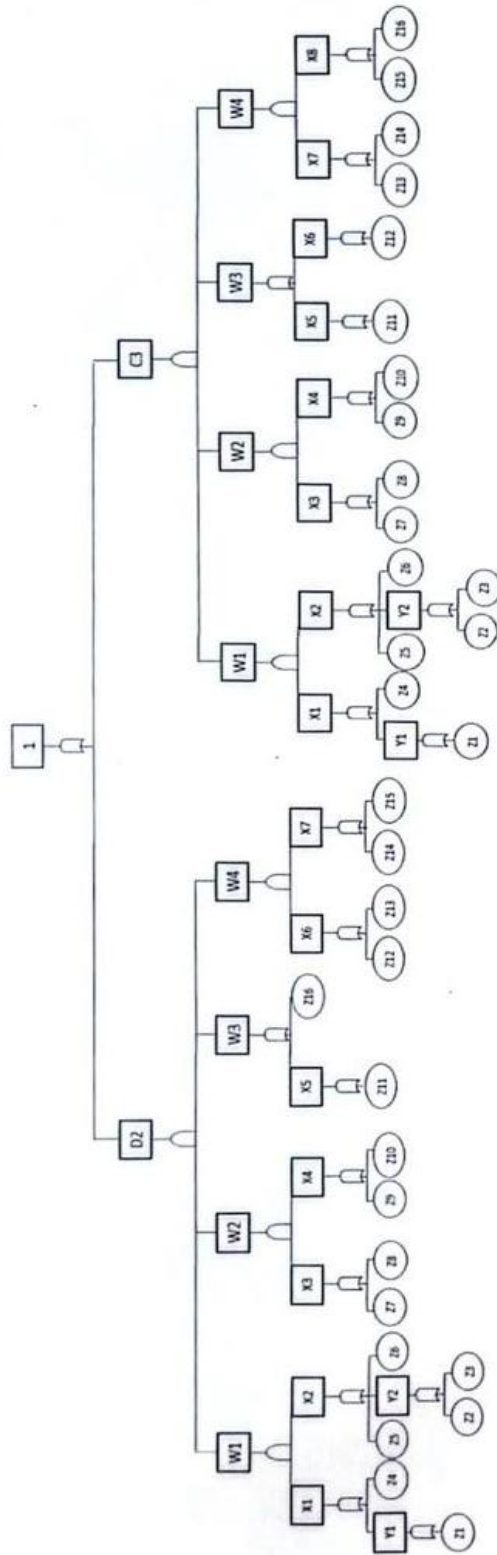
**MATERI****PELATIHAN AHLI MUDA K3 KONSTRUKSI**

NO	PEMATERI	MATERI PELATIHAN	JP
1	Dr. Ir. Soeparno, MT, IPU, ASEAN.Eng	Mengidentifikasi dan Mengendalikan Risiko Bahaya	2
2	Ir. Lazuardi Nurdin, CSP, IPU, ASEAN.Eng	Melaksanakan program Pelatihan Simulasi Tanggap Darurat	2
	Ir. Lazuardi Nurdin, CSP, IPU, ASEAN.Eng	Menyusun SMKK Konseptual untuk Perencanaan dan Perancangan	2
3	Moh. Hasib Al Isbilly, ST, MT	Melakukan Inspeksi K3 Konstruksi	2

Panitia Pelaksana
Pelatihan Ahli Muda K3
Konstruksi

Ir. R. Pius. X. Rooswan .H., ST, MT, IPM

LAMPIRAN 2 Grafik *Fault Tree Analysis* (FTA) Validasi



Yogyakarta, 14 Maret 2026

Disetujui oleh,

ACC

Adityawan Sigik, S.T., M.T., Ph.D.

LAMPIRAN 3 Dokumentasi



Gambar L-3.1 Validasi Data *Fault Tree Analysis*



Gambar L-3.2 Mobilisasi Girder



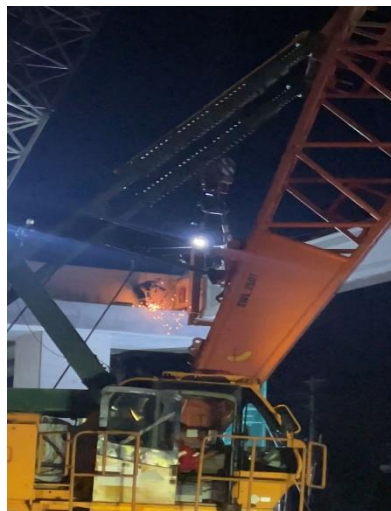
Gambar L-3.3 Pengaitan Titik Angkat Girder ke Crane



Gambar L-3.4 Proses Pengangkatan Girder



Gambar L-3.5 Proses Penurunan Girder ke Pilar



Gambar L-3.6 Proses *Bracing* Girde