

## BAB I PENDAHULUAN

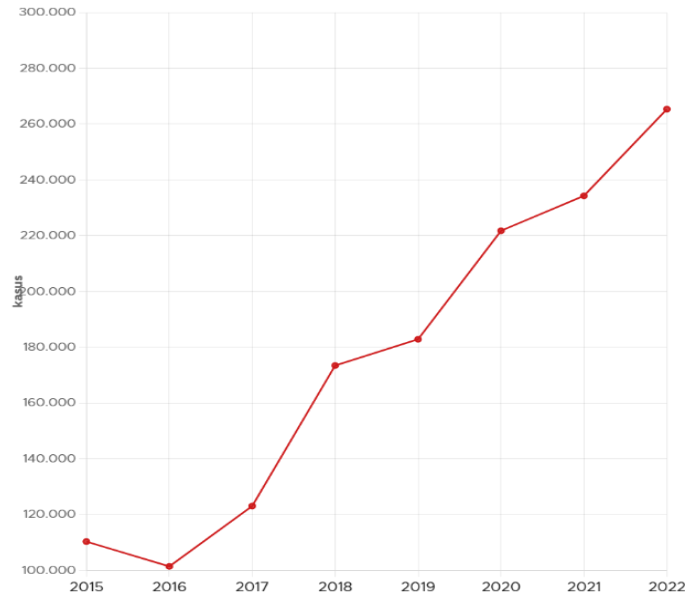
### 1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur di Indonesia merupakan prioritas utama pemerintah, karena infrastruktur yang baik sangat penting untuk memperkuat kemandirian ekonomi dan sosial suatu negara. Maryaningsih et al. (2014) menunjukkan bahwa infrastruktur memiliki pengaruh positif terhadap pertumbuhan ekonomi di Indonesia. Selain itu, Sukwika (2018) menemukan bahwa pembangunan infrastruktur berperan dalam mengurangi ketimpangan ekonomi antarwilayah di Indonesia. Infrastruktur fisik seperti jalan tol berfungsi sebagai aset penting yang harus dikelola dengan baik untuk memenuhi kebutuhan masyarakat sekarang dan di masa depan. Dengan demikian, pembangunan infrastruktur yang efektif dan efisien di Indonesia tidak hanya mendorong pertumbuhan ekonomi, tetapi juga berkontribusi pada pemerataan kesejahteraan antarwilayah.

Salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) di Kota Makassar adalah pembangunan Jalan Akses Tol *Makassar New Port* Tahap I & II. Proyek ini bertujuan untuk memperkuat jaringan jalan tol, meningkatkan konektivitas regional, dan mendukung efisiensi distribusi barang dan jasa yang penting untuk pertumbuhan ekonomi lokal dan nasional. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), pembangunan jalan akses tol ini akan meningkatkan konektivitas Pelabuhan *Makassar New Port* dengan jaringan jalan nasional, sehingga mempercepat arus logistik di Kawasan Timur Indonesia (Kementerian PUPR, 2021).

Namun, proyek infrastruktur besar seperti ini menghadapi berbagai risiko selama tahap perencanaan, konstruksi, hingga operasional. Salah satu komponen konstruksi yang memiliki risiko tinggi dalam proyek ini adalah pekerjaan *girder* dan *pier*. *Girder* merupakan balok besar yang berfungsi sebagai penopang utama pada struktur jalan layang, sementara *Pier* adalah tiang penyangga yang menjaga stabilitas keseluruhan struktur. Kedua elemen ini sangat penting karena kesalahan dalam pemasangan atau konstruksi dapat berakibat fatal, seperti kejatuhan *girder* saat pengangkatan atau kegagalan struktur *pier* yang menyebabkan keruntuhan.

Studi terkait risiko pekerjaan *girder* dan *pier* di Indonesia menunjukkan bahwa beban berat *girder* dan ketepatan tinggi dalam pemasangan *pier* merupakan faktor utama yang meningkatkan potensi kecelakaan. Dalam laporan Badan Pengelola Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan, sektor konstruksi menyumbang sekitar 27% dari total kecelakaan kerja di Indonesia pada 2022, dengan pekerjaan *girder* dan *pier* sering menjadi sumber utama kecelakaan tersebut. Sebagai contoh, kecelakaan pada proyek Tol Jakarta-Cikampek Elevated II pada tahun 2020, di mana *girder* jatuh saat proses pengangkatan, menyebabkan kerugian besar baik dari segi material maupun korban jiwa. Hal ini menunjukkan bahwa risiko pekerjaan *girder* dan *pier* membutuhkan pendekatan manajemen risiko yang terstruktur dan efektif (BPJS Ketenagakerjaan, 2022).



Gambar 1. Jumlah kecelakaan konstruksi di Indonesia  
Sumber: BPJS Ketenagakerjaan, 2022

Untuk mengurangi risiko kecelakaan pada pekerjaan *girder* dan *pier*, *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah salah satu metode yang efektif. FTA berfungsi tidak hanya sebagai alat analisis risiko tetapi juga sebagai alat pemetaan yang mengidentifikasi penyebab utama dari setiap kecelakaan dengan menguraikan kejadian puncak ke dalam berbagai faktor penyebab secara terstruktur. Hal ini memungkinkan identifikasi akar penyebab secara rinci (Ericson, 2005).

Selain itu, FTA memberikan visualisasi hubungan sebab-akibat yang mendalam, yang sangat relevan dalam proyek konstruksi dengan kompleksitas tinggi seperti pekerjaan *girder* dan *pier* (Leveson, 2011). Dalam konteks konstruksi, FTA telah terbukti efektif untuk menganalisis risiko spesifik pada aktivitas yang melibatkan alat berat, seperti pengangkatan *girder*, yang membutuhkan ketelitian tinggi serta pengawasan yang ketat (Wang, Li, & Zhang, 2018). Dengan pendekatan ini, identifikasi dan mitigasi risiko menjadi lebih sistematis, sehingga upaya mitigasi dapat difokuskan untuk meminimalkan potensi kecelakaan serta meningkatkan efisiensi proyek (Sulaiman, Mohammad, & Arif, 2018).

Penerapan FTA pada proyek Jalan Akses Tol *Makassar New Port* Tahap I & II diharapkan mampu memberikan strategi mitigasi risiko yang lebih terarah, terutama dalam mengidentifikasi dan menangani potensi kecelakaan pada pekerjaan *girder* dan *pier* secara menyeluruh. Analisis ini difokuskan pada evaluasi risiko kecelakaan konstruksi sepanjang 3,2 kilometer jalan tol tersebut, dengan *Fault Tree Analysis* sebagai metode utama untuk memetakan akar penyebab kecelakaan secara rinci. Langkah-langkah pencegahan yang dihasilkan melalui analisis ini diharapkan dapat dirancang dengan lebih efektif dan tepat sasaran.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Apa saja jenis risiko kecelakaan yang paling signifikan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier* dalam proyek Jalan Tol?
2. Bagaimana metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dapat diterapkan secara efektif untuk mengelola risiko kecelakaan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*?
3. Apa strategi mitigasi risiko yang paling tepat untuk mengurangi kecelakaan konstruksi pada pekerjaan *Girder* dan *Pier* dalam proyek ini?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi risiko signifikan dan faktor penyebab kecelakaan konstruksi pada pekerjaan *Girder* dan *Pier* di proyek Jalan Tol Akses *Makassar New Port*.
2. Menerapkan metode *Fault Tree Analysis* untuk mengevaluasi potensi bahaya, langkah pengendalian, dan dampak kecelakaan konstruksi.
3. Mengusulkan strategi mitigasi risiko untuk mengurangi kemungkinan dan dampak kecelakaan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Menyediakan pengetahuan komprehensif tentang risiko kecelakaan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*, serta strategi mitigasi yang tepat.
2. Memberikan panduan bagi manajer proyek dan kontraktor dalam menggunakan metode *Fault Tree Analysis* yang mampu mengidentifikasi dan mengurangi akar penyebab risiko secara komprehensif.
3. Mengurangi risiko kecelakaan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*, meningkatkan efisiensi operasional, dan mengurangi biaya yang timbul akibat kecelakaan.

## 1.5 Ruang Lingkup

Adapun manfaat penelitian ini sebagai berikut:

1. Penelitian ini mencakup pekerjaan *Girder* dan *Pier* pada proyek Jalan Tol Akses *Makassar New Port* Tahap I & II di Kota Makassar.
2. Fokus penelitian pada fase konstruksi proyek tahun 2022-2023, dengan perhatian khusus pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*.
3. Penelitian ini menggunakan *Fault Tree Analysis* untuk membahas risiko kecelakaan pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*.
4. Data diperoleh dari studi literatur, wawancara, dan kuesioner terkait pekerjaan *Girder* dan *Pier* pada proyek pembangunan jalan layang.

## 1.6 Teori

### 1.6.1 Proyek konstruksi

**Definisi proyek konstruksi.** Dalam Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi (UU Konstruksi) Pasal 1 Ayat (3), proyek konstruksi didefinisikan sebagai kegiatan yang meliputi perencanaan, perancangan, pengawasan, pelaksanaan, dan penyelesaian pekerjaan konstruksi. Proyek konstruksi merupakan serangkaian kegiatan yang dilaksanakan dalam jangka waktu tertentu dengan proses pengolahan sumber daya proyek menjadi suatu hasil kegiatan berupa konstruksi (Yusuf, 2022). Berdasarkan *Construction Extention* PMBOK, proyek konstruksi harus secara bersamaan menangani lokasi, keadaan lokasi, populasi, lingkungan fisik, infrastruktur yang ada, dan kebutuhan banyak pemangku kepentingan.

**Jenis-jenis proyek konstruksi.** Adapun jenis proyek konstruksi dibagi menjadi lima jenis, antara lain:

#### 1. Proyek Konstruksi Perumahan (*Residential Construction*)

Proyek ini melibatkan pembangunan, perbaikan, pemodelan ulang struktur, dan pemasangan utilitas seperti air dan listrik di sekitar bangunan. Contoh proyek konstruksi bangunan perumahan/*residential* adalah apartemen, *townhouse*, kondominium, panti jompo, asrama, dll.

#### 2. Proyek Konstruksi Bangunan Gedung (*Building Construction*)

Jenis proyek konstruksi ini mencakup kebutuhan proyek gedung komersial/*institutional*. Contoh proyek konstruksi bangunan gedung adalah sekolah, stadion olahraga, pusat perbelanjaan, universitas, rumah sakit, gudang, pabrik, gedung pencakar langit, dan proyek lain dengan berbagai ukuran dan jenis.

#### 3. Proyek Konstruksi Bangunan Industri (*Industrial Construction*)

Contoh proyek konstruksi bangunan industri misalnya kilang minyak, struktur pembangkit listrik tenaga nuklir, pembangkit listrik tenaga air, pembangkit listrik tenaga surya.

#### 4. Proyek Konstruksi Teknik Sipil (*Heavy Construction*)

Jenis konstruksi ini meliputi pembangunan dan peningkatan perkeretaapian, komunikasi, dan jalan. Jenis konstruksi ini umumnya dilakukan untuk kepentingan umum dan sering dilakukan oleh instansi pemerintah maupun perusahaan swasta besar. Beberapa contoh proyek konstruksi bangunan sipil adalah terowongan, jembatan, jalan, sistem transit, sistem drainase, jaringan pipa, bendungan, instalasi pengolahan air limbah, proyek pengerukan, pengendalian banjir, dan saluran pembuangan.

#### 5. Proyek Konstruksi Jalan Raya (*Highway Construction*)

Proyek pembangunan jalan raya biasanya dilakukan atas permintaan dan perintah dari Departemen Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) atau proyek pemerintah. Proyek konstruksi jalan raya meliputi perbaikan, struktur konstruksi dan perubahan jalan raya, gang, area parker, landasan pacu, dan jalan

tol. Proses pembangunan jalan terdiri dari penggalian, pengukuran, pembangunan, dan perkerasan.

**Tahapan proyek konstruksi.** Tahapan proyek konstruksi terdiri atas beberapa tahapan sebagai berikut (Yuliana, 2018):

1) Tahap Perencanaan (*planning*)

Tahapan perencanaan merupakan penetapan garis-garis besar rencana proyek, mencakup: rekrutmen konsultan (MK, perencana) untuk menerjemahkan kebutuhan pemilik, pembuatan *Term of Reference* (TOR), survei, studi kelayakan (*feasibility studies*) proyek, pemilihan *design*, *program* dan *budget*. Di sini merupakan tahap penjelasan (*briefing*), studi, evaluasi dan 20 program yang mencakup hal-hal teknis, ekonomis, lingkungan, dan lain-lain. Hasil dari tahap ini adalah:

- a) Laporan survei,
- b) Studi kelayakan,
- c) *Program* dan *budget*,
- d) TOR (*Term of Reference*),
- e) *Master plan*.

2) Tahap Perancangan (*Design*)

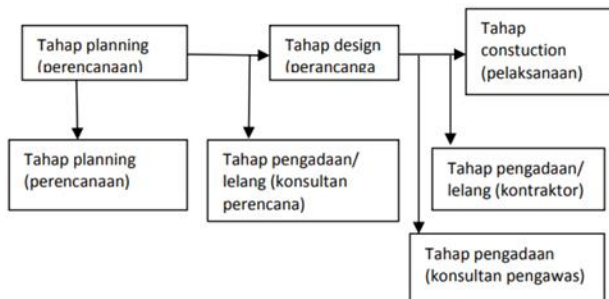
Tahap perancangan terdiri dari:

- a. Tahap Pra Rancangan (*Preliminary Design*), yang mencakup kriteria disain, skematik disain, diagram *block plan*, rencana tapak, potongan, denah, gambar situasi/*site plane* tata ruang, estimasi (secara global).
  - b. Pengembangan Rancangan (*Development Design*) merupakan tahap pengembangan dari prarancangan yang sudah dibuat dan perhitungan perhitungan yang lebih detail, mencakup:
    - Perhitungan-perhitungan desain (struktural maupun non struktural) secara terinci.
    - Gambar-gambar detail (gambar arsitektur, elektrik, struktur, mekanik, dan sebagainya).
    - *Outline specification* (garis besar).
    - Estimasi biaya untuk konstruksi secara lebih terinci.
  - c. Tahap Rancangan akhir dan penyiapan dokumen pelaksanaan (*final design and construction document*) Merupakan tahap akhir dari perencanaan dan persiapan untuk tahap pelelangan mencakup:
    - Gambar-gambar detail, untuk seluruh bagian pekerjaan,
    - Detail spesifikasi,
    - Daftar volume (*bill of quantity*),
    - Estimasi biaya konstruksi (secara rinci),
    - Syarat-syarat umum administrasi dan peraturan umum (dokumen lelang).
- 3) Tahap Pengadaan/ Pelelangan/Tender
- a. Pengadaan konsultan.
    - Konsultan MK/Perencana setelah gagasan awal/TOR ada.
    - Konsultan Pengawas/*supervise* setelah dokumen lelang ada.
  - b. Pengadaan kontraktor setelah dokumen lelang ada.

#### 4) Tahap Pelaksanaan

Tahap ini merupakan tahap pelaksanaan pembangunan konstruksi fisik yang telah dirancang. Pada tahap ini, setelah kontrak ditandatangani, SPK dikeluarkan, maka pekerjaan pelaksanaan dilakukan yang mencakup:

- a. Rencana kerja (*time schedule*),
- b. Pembagian waktu secara rinci,
- c. Rencana lapangan (*site plan/installation*), rencana perletakkan bahan, alat dan bangunan-bangunan pembantu lainnya,
- d. Organisasi lapangan,
- e. Pengadaan bahan/*material*,
- f. Pengadaan dan mobilisasi alat,
- g. Pengadaan dan mobilisasi tenaga,
- h. Pekerjaan persiapan dan pengukuran (*stake out*)
- i. Gambar kerja (*shop drawing*)



Gambar 2. Tahapan proyek konstruksi  
Sumber: Yuliana, 2018

### 1.6.2 Manajemen proyek

**Definisi manajemen proyek.** Manajemen adalah suatu ilmu pengetahuan tentang seni memimpin organisasi yang terdiri atas kegiatan perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian terhadap sumber daya yang terbatas dalam usaha mencapai tujuan dan sasaran yang efektif dan efisien. Tujuannya untuk mendapatkan metode atau cara teknis yang baik dengan sumber daya yang terbatas untuk memperoleh hasil maksimal dalam hal ketetapan, kecepatan, penghematan, dan keselamatan kerja secara komprehensif (AB Siswanto et al., 2019).

Manajemen proyek adalah upaya yang menggabungkan pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik khusus untuk memberikan sesuatu yang bernilai kepada orang-orang. Sederhananya, manajemen proyek adalah proses memimpin tim untuk mencapai tujuan proyek atau menyelesaikan proyek dalam jangka waktu tertentu. Ini mencakup perencanaan, komunikasi, pelacakan, dan dokumentasi proyek (Pamela, 2022).

**Manfaat manajemen proyek.** Menurut Pamela (2022) Manajemen proyek bermanfaat untuk mendukung tim dalam perencanaan, pengelolaan, dan pelaksanaan tugas agar dapat memenuhi 23 persyaratan proyek sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Beberapa di antaranya adalah sebagai berikut:

- **Kinerja tim yang lebih efisien**

Manajemen proyek dapat membantu memastikan bahwa tim dapat menyelesaikan pekerjaan tepat waktu dan pada waktu yang tepat. Sehingga menjadi lebih efisien dan efektif dalam menghasilkan produk yang sukses.

- **Memberikan kualitas yang lebih baik**

Dengan *project management*, Anda dan tim dapat memiliki kualitas pekerjaan yang lebih baik, karena memiliki semua waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan.

- **Membantu pertumbuhan dan perkembangan tim**

Mengerjakan tugas secara individual dapat memberikan beban yang lebih besar, tetapi ini tidak jika dibagi dengan manajemen yang baik. Setiap anggota tim dapat memiliki waktu untuk fokus pada pekerjaannya dan bahkan memiliki ruang yang cukup untuk bertumbuh serta berkembang menjadi lebih baik.

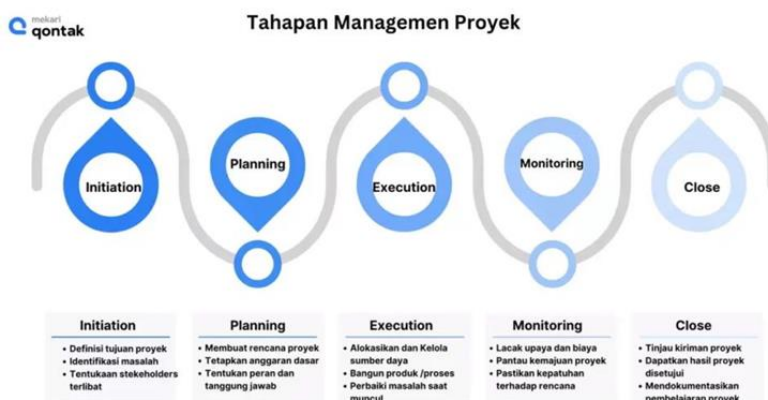
- **Memberikan lebih banyak fleksibilitas**

Ada banyak kemungkinan perubahan yang dapat terjadi dalam sebuah proyek. Oleh karena itu, *project management* dapat membantu tim untuk menyesuaikan jalur proyek dan meminimalisir resiko yang mungkin terjadi ke depannya.

- **Transparan dan akuntabel**

Manfaat yang terakhir dan kalah penting adalah membantu memberikan laporan yang transparan dan akuntabel. Mengingat, semua proses proyek dicatat dan dikelola dengan sebaik mungkin.

**Tahapan manajemen proyek.** Adapun tahapan manajemen proyek dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Tahapan manajemen proyek

Sumber: Pamela, 2022

Dalam penerapannya, *project management* dapat dibagi menjadi lima tahapan atau langkah seperti berikut ini:

1. **Inisiasi Proyek (*Initiation*)**

Langkah manajemen proyek yang pertama adalah inisiasi proyek untuk mendefinisikan proyek secara luas. Ini bertujuan untuk memberikan gambaran umum tentang tujuan dan persyaratan proyek.

## 2. Perencanaan Proyek (*Planning*)

Kemudian, Anda dapat melanjutkan dengan melakukan perencanaan seperti membuat roadmap untuk diikuti oleh tim Anda. Selama tahap ini, manajer Proyek harus mengatur tim, menyiapkan sumber daya kolaboratif, dan menetapkan tujuan yang jelas.

## 3. Eksekusi Proyek (*Execution*)

Langkah yang ketiga adalah proses eksekusi proyek. Pada proses ini, tim akan mengembangkan dan menyelesaikan proyek sesuai dengan roadmap atau rencana yang telah dibuat sebelumnya.

## 4. Pemantauan Proyek (*Monitoring*)

Pemantauan proyek bertujuan untuk memastikan bahwa hasil proyek selaras dengan rencana pengelolaan yang telah ditetapkan. Misalnya seperti tujuan proyek, kualitas, biaya, kinerja, dan masih banyak lagi.

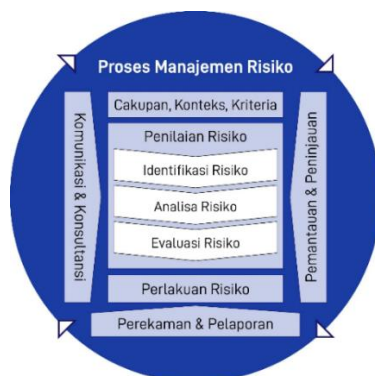
## 5. Penutupan Proyek (*Close*)

Setelah proyek selesai, tim harus secara resmi melakukan penutupan. Umumnya, manajer proyek akan mengadakan pertemuan post mortem untuk mengevaluasi keberhasilan dan kegagalan proyek.

### 1.6.3 Manajemen risiko dalam proyek konstruksi

**Konsep manajemen risiko.** Kata risiko berasal dari bahasa Arab yang berarti hadiah yang tidak diharap harap datangnya dari surga. Risiko adalah sesuatu yang mengarah pada ketidakpastian atas terjadinya suatu peristiwa selama selang waktu tertentu yang mana peristiwa tersebut menyebabkan suatu kerugian baik itu kerugian kecil yang tidak begitu berarti maupun kerugian besar yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidup dari suatu perusahaan. Risiko pada umumnya dipandang sebagai sesuatu yang negatif, seperti kehilangan, bahaya, dan konsekuensi lainnya. Manajemen risiko dalam konstruksi mencakup proses sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengurangi risiko yang dapat memengaruhi pencapaian tujuan proyek. Proses ini mencakup evaluasi proaktif untuk memitigasi risiko sebelum menyebabkan dampak signifikan (ISO 31000:2018; PMI, 2017).

Manajemen risiko sangat penting untuk menjaga keselamatan dan kesejahteraan pekerja di sektor konstruksi. Standar internasional seperti ISO 31000:2018 menyediakan kerangka kerja yang efektif untuk meminimalkan risiko, terutama terkait dengan keselamatan kerja (ISO, 2018). ISO 31000:2018 juga menekankan pentingnya penilaian risiko terstruktur yang mencakup faktor teknis, operasional, dan lingkungan, yang sangat relevan pada proyek-proyek besar seperti Jalan Tol Makassar New Port (Ali et al., 2021). Manajemen risiko harus bersifat proaktif, sehingga memungkinkan pengelola proyek untuk mengantisipasi dan mengurangi bahaya sebelum berkembang menjadi insiden serius (Kerzner, 2017). Diagram ini menunjukkan langkah-langkah dalam manajemen risiko yang mencakup identifikasi, analisa, evaluasi, dan pengendalian risiko.



Gambar 4. Diagram proses manajemen risiko  
Sumber: ISO 31000:2018

**Manajemen risiko dalam industri konstruksi.** Industri konstruksi merupakan sektor yang paling rentan terhadap risiko kecelakaan, terutama pada pekerjaan yang melibatkan elemen kritis seperti *girder* dan *pier*. Menurut *Project Management Institute* (PMI, 2017), manajemen risiko dalam proyek konstruksi mencakup identifikasi risiko fisik seperti kerusakan struktural, kecelakaan konstruksi, dan risiko finansial yang timbul dari perpanjangan waktu pengerjaan. Di Indonesia, proyek seperti Jalan Tol Trans-Jawa telah menggunakan manajemen risiko secara intensif untuk meminimalkan potensi kecelakaan dan penundaan proyek (Juwono, 2019).

**Perlindungan tenaga kerja.** Perlindungan tenaga kerja meliputi aspek aspek yang cukup luas, yaitu perlindungan dari segi fisik yang mencakup perlindungan keselamatan dari kecelakaan kerja dan kesehatannya serta adanya pemeliharaan moral kerja dan perlakuan yang sesuai dengan martabat manusia dan moral agama, sebagaimana telah ditegaskan Pasal 86 UU Nomor 13 Tahun 2003 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Setiap tenaga kerja mempunyai hak untuk memperoleh perlindungan atas:

- a. Keselamatan dan kesehatan kerja,
- b. Moral dan kesusilaan,
- c. Perlakuan yang sesuai dengan harkat dan martabat serta nilai-nilai agama.

**Penerapan manajemen risiko di proyek jalan tol.** Dalam proyek Jalan Tol Akses *Makassar New Port*, penerapan manajemen risiko sangat penting untuk mengurangi kecelakaan, terutama terkait dengan pekerjaan *girder* dan *pier*. Identifikasi bahaya di lokasi konstruksi, penggunaan alat berat, dan penerapan tindakan pengendalian seperti penggunaan *personal protective equipment* (PPE) dan pembatasan area kerja berisiko tinggi adalah langkah-langkah kunci dalam mitigasi risiko (Hasibuan et al., 2020).

#### 1.6.4 Risiko kecelakaan konstruksi pada proyek konstruksi

**Definisi risiko kecelakaan konstruksi.** Menurut Permen PUPR No. 10 Tahun 2021, kecelakaan konstruksi adalah suatu kejadian akibat kelalaian pada tahap pekerjaan konstruksi karena tidak terpenuhinya standar keamanan, keselamatan,

kesehatan, dan keberlanjutan, yang mengakibatkan kehilangan harta benda, waktu kerja, kematian, cacat tetap, dan/atau kerusakan lingkungan.

Risiko kecelakaan konstruksi adalah potensi terjadinya insiden yang menyebabkan cedera pada pekerja atau kerugian material. Faktor-faktor seperti kelalaian pekerja, penggunaan alat berat yang tidak aman, dan kondisi lingkungan kerja yang berbahaya sering menjadi penyebab utama kecelakaan di proyek konstruksi (Haslam et al., 2005; Alaloul et al., 2021). Di Indonesia, proyek-proyek besar sering menghadapi tantangan risiko kecelakaan tinggi, terutama dalam pekerjaan yang melibatkan alat berat seperti *crane* (BPJS Ketenagakerjaan, 2021).

**Faktor-faktor penyebab kecelakaan konstruksi.** Faktor penyebab kecelakaan di sektor konstruksi meliputi perilaku pekerja, desain proyek, dan ketidakpatuhan terhadap standar keselamatan. Choudhry et al. (2008) menambahkan bahwa tidak memadainya alat pelindung diri (APD) dan kondisi kerja yang tidak aman berkontribusi pada tingginya angka kecelakaan.

Di Indonesia, Syahputra et al. (2018) menemukan bahwa lemahnya pelatihan keselamatan kerja menjadi salah satu faktor utama tingginya angka kecelakaan di sektor konstruksi. Selain itu, kesalahan dalam pengoperasian *crane* atau alat berat selama pemasangan *girder* dan *pier* menjadi salah satu penyebab utama kecelakaan pada proyek jalan layang di Indonesia (Juwono, 2020).

**Dampak kecelakaan konstruksi pada proyek konstruksi.** Kecelakaan konstruksi tidak hanya mengancam keselamatan pekerja tetapi juga berdampak signifikan terhadap biaya dan jadwal proyek. Menurut Manu et al. (2018), kecelakaan konstruksi dapat menyebabkan keterlambatan proyek, peningkatan biaya, dan penurunan produktivitas secara keseluruhan.

Keterlambatan dalam pekerjaan kritis seperti pengangkatan *girder* atau pemasangan *pier* dapat memperpanjang durasi proyek dan meningkatkan biaya operasional (Qi et al., 2020).

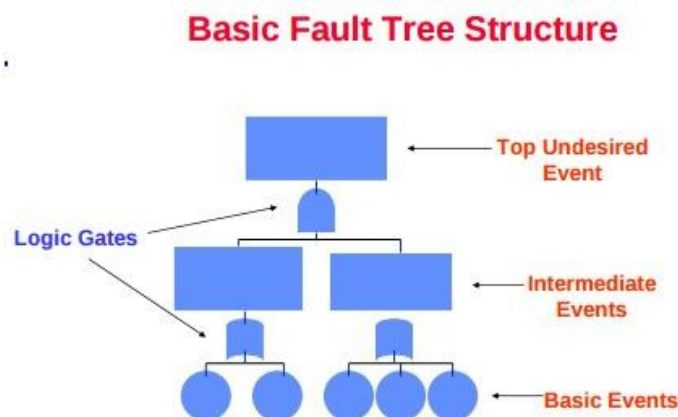


Gambar 5. Grafik statistik kecelakaan konstruksi  
Sumber: BPJS Ketenagakerjaan, 2021

Berdasarkan data dari Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan, pada tahun 2017 angka kecelakaan kerja yang dilaporkan mencapai 123.041 kasus. Pada tahun 2018, jumlah ini meningkat menjadi 173.105 kasus dengan klaim Jaminan Kecelakaan Kerja (JKK) sebesar Rp 1,2 triliun. Angka kecelakaan pada tahun 2019 tercatat sebanyak 114.000 kasus, yang kemudian meningkat 55,2% menjadi 177.000 kasus pada tahun 2020. Sementara itu, sepanjang Januari hingga September 2021, terdapat 82.000 kasus kecelakaan kerja dan 179 kasus penyakit akibat kerja, dengan 65% di antaranya disebabkan oleh pandemi Covid-19 (BPJS Ketenagakerjaan, 2021).

### 1.6.5 Metode *Fault Tree Analysis* dalam manajemen risiko

**Konsep *Fault Tree Analysis* (FTA).** *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode analisis risiko yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi penyebab utama dari suatu kejadian yang tidak diinginkan atau kejadian puncak (*Top Event*). FTA memungkinkan pemetaan hubungan sebab-akibat dari berbagai faktor penyebab kecelakaan atau kegagalan dalam sistem yang kompleks, dengan memecah kejadian puncak ke dalam akar penyebab secara sistematis (Ericson, 2015).



Gambar 6. Contoh diagram FTA

FTA bekerja dengan struktur diagram berbentuk pohon yang mengurai penyebab potensial dari kejadian puncak menjadi beberapa tingkat, dimulai dari kejadian yang diidentifikasi sebagai risiko utama hingga faktor penyebab terkecil. Diagram ini terdiri dari gerbang logika (*logic gates*) seperti AND dan OR, yang menunjukkan bagaimana berbagai faktor berkontribusi terhadap kejadian tersebut (Chang, Zeng, & Liu, 2020).

**Aplikasi *Fault Tree Analysis* dalam industri konstruksi.** Dalam industri konstruksi, *Fault Tree Analysis* (FTA) banyak digunakan untuk mengidentifikasi risiko yang terlibat dalam proyek dengan kompleksitas tinggi, termasuk yang melibatkan penggunaan alat berat seperti *girder* dan *pier* pada proyek jalan tol. Metode ini sangat berguna dalam menganalisis dan memetakan berbagai risiko yang berkaitan dengan

operasi berisiko tinggi, seperti pengangkatan *girder* dengan *crane*, yang berpotensi menimbulkan kecelakaan jika tidak dikelola dengan baik (Zhou, Ding, & Wang, 2019).

Sebagai contoh, dalam pekerjaan pengangkatan *girder*, FTA dapat membantu mengidentifikasi berbagai faktor risiko, seperti kondisi *crane*, keahlian operator, dan kondisi cuaca sebagai penyebab potensial kecelakaan. Dengan menggunakan FTA, tim proyek dapat merancang langkah mitigasi yang lebih terarah, seperti memastikan perawatan alat berat dilakukan secara berkala, memberikan pelatihan khusus kepada operator *crane*, dan memantau kondisi cuaca secara cermat sebelum aktivitas pengangkatan dilakukan (Sulaiman, Mohammad, & Arif, 2018).

**Tahapan analisis dengan *Fault Tree Analysis*.** Proses FTA dalam manajemen risiko konstruksi mencakup beberapa tahap utama, yaitu:

1. **Identifikasi Kejadian Puncak (*Top Event*):** Kejadian puncak merupakan risiko utama atau kecelakaan yang menjadi fokus analisis. Pada proyek ini, kejadian puncak yang dianalisis adalah kecelakaan yang terjadi pada pekerjaan *girder* dan *pier*.
2. **Analisis Sebab-Akibat:** Setelah menentukan kejadian puncak, analisis dilanjutkan dengan memetakan sebab-akibat secara bertingkat, mulai dari penyebab langsung hingga penyebab mendasar (*root causes*). Tahapan ini melibatkan penyusunan diagram pohon yang memecah kejadian puncak ke dalam berbagai penyebab hingga faktor terkecil, seperti kegagalan peralatan atau kesalahan manusia (Leveson, 2011).
3. **Identifikasi dan Penentuan Langkah Mitigasi:** Setiap penyebab dari kejadian puncak kemudian diidentifikasi untuk menetapkan langkah mitigasi yang sesuai. Langkah-langkah ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kejadian puncak atau meminimalkan dampaknya. Pada proyek *girder* dan *pier*, langkah mitigasi dapat mencakup pemeliharaan rutin alat berat, peningkatan pelatihan keselamatan bagi operator, dan prosedur pemeriksaan kualitas material sebelum digunakan (Wang, Li, & Zhang, 2018).

**Relevansi *Fault Tree Analysis* untuk Proyek Jalan Akses Tol Makassar New Port.** Pada proyek Jalan Akses Tol Makassar New Port Tahap I & II, penerapan *Fault Tree Analysis* (FTA) sangat relevan untuk meningkatkan pengelolaan risiko dalam pekerjaan konstruksi berisiko tinggi. FTA memberikan struktur yang jelas untuk mengidentifikasi dan mengevaluasi penyebab kecelakaan secara mendalam, memungkinkan pengelola proyek untuk memahami hubungan antar penyebab dan mengembangkan strategi mitigasi yang efektif (Khan & Abbasi, 2016).

### 1.6.6 Strategi mitigasi risiko pada proyek jalan tol

**Definisi mitigasi risiko.** Mitigasi risiko dalam proyek konstruksi mencakup langkah-langkah teknis dan manajerial yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko atau dampaknya. Strategi mitigasi risiko yang efektif melibatkan pengendalian teknis, pelatihan keselamatan berkelanjutan, serta pengawasan yang ketat terhadap prosedur keselamatan di lapangan (Rae & Provan, 2019; De Silva et al., 2018).

**Strategi mitigasi risiko dalam proyek konstruksi.** Strategi mitigasi risiko di proyek konstruksi juga dapat melibatkan penerapan teknologi seperti *Building Information Modeling* (BIM) dan *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi lokasi kerja secara *real-time*. Menurut Yap et al. (2018), penggunaan teknologi ini dapat mengurangi potensi kecelakaan dengan memberikan informasi langsung kepada manajer proyek tentang situasi berisiko tinggi di lapangan.

**Rekomendasi mitigasi risiko untuk Proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port.** Pada proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port, penerapan *Fault Tree Analysis* (FTA) dan penggunaan teknologi keselamatan seperti BIM dan IoT dapat menjadi strategi mitigasi risiko yang efektif. Pengawasan yang lebih ketat terhadap kepatuhan terhadap standar keselamatan, serta peningkatan pelatihan keselamatan kerja, juga perlu diperkuat untuk mengurangi risiko kecelakaan konstruksi.

#### **1.6.7 Relevansi Penelitian terhadap Proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port**

**Kondisi Proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port.** Proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port Tahap I & II merupakan salah satu proyek infrastruktur terbesar di Indonesia, melibatkan banyak pihak dan penggunaan alat berat. Dengan tingkat kompleksitas yang tinggi, proyek ini memerlukan manajemen risiko yang ketat untuk mengurangi risiko kecelakaan konstruksi dan menjaga kelancaran proyek.

**Penerapan *Fault Tree Analysis* pada proyek jalan tol.** Penerapan *Fault Tree Analysis* (FTA) diharapkan dapat memberikan gambaran mendalam mengenai hubungan sebab-akibat dari setiap potensi bahaya yang dihadapi di lapangan, serta langkah mitigasi yang dapat diterapkan secara terfokus. Dengan FTA, tim manajemen risiko dapat mengidentifikasi penyebab utama kecelakaan konstruksi dan merancang tindakan pencegahan yang lebih efektif untuk mengurangi dampak risiko, khususnya pada pekerjaan *girder* dan *pier* (Ericson, 2015).

**Kontribusi penelitian bagi pengembangan proyek konstruksi.** Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan metode manajemen risiko yang lebih efektif pada proyek konstruksi di Indonesia. Dengan mengaplikasikan *Fault Tree Analysis* (FTA), proyek konstruksi di Indonesia dapat lebih sistematis dalam mengidentifikasi dan memitigasi risiko kecelakaan konstruksi, khususnya yang terkait dengan pekerjaan *girder* dan *pier*.

## BAB II METODE PENELITIAN

### 2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif analitik yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko kecelakaan konstruksi pada pekerjaan girder dan pier dalam proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port Tahap I & II. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dipilih karena mampu memetakan hubungan sebab-akibat secara sistematis dan mendalam, sehingga memungkinkan identifikasi akar penyebab kejadian kecelakaan dan perancangan langkah mitigasi yang efektif. Pendekatan penelitian ini dibagi menjadi dua metode:

#### 1. Metode Kualitatif

Data kualitatif dikumpulkan melalui:

- **Wawancara Mendalam:** Dilakukan dengan ahli HSE, staf teknis, dan pekerja untuk memahami persepsi risiko dan tindakan pengendalian yang dilakukan.
- **Observasi Lapangan:** Mengamati langsung kegiatan pekerjaan girder dan pier untuk mendeteksi potensi bahaya yang mungkin luput dari wawancara.
- **Analisis Dokumen Proyek:** Mengkaji laporan proyek, catatan kecelakaan, dan literatur terkait.

#### 2. Metode Kuantitatif

Data kuantitatif meliputi data numerik terkait frekuensi kecelakaan, tingkat keparahan, dan durasi keterlambatan proyek akibat kecelakaan. Analisis statistik dilakukan dengan metode deskriptif untuk memahami tren risiko.

Tabel 1. Kriteria responden

| Jenis Responden | Jumlah Responden | Kriteria                                                   |
|-----------------|------------------|------------------------------------------------------------|
| HSE             | 5                | Memiliki pengalaman lebih dari 5 tahun di proyek jalan tol |
| Staff Teknis    | 15               | Terlibat langsung dalam kegiatan konstruksi jalan tol      |

### 2.2 Strategi Penelitian

Strategi penelitian ini disusun untuk menjawab rumusan masalah secara sistematis dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Pengumpulan Data:

- Data lapangan (kondisi alat, observasi pekerja).
- Wawancara dan kuesioner (persepsi pekerja tentang risiko).
- Dokumentasi laporan kecelakaan proyek.

#### 2. Penyusunan *Fault Tree Analysis*:

Data yang dikumpulkan diolah untuk menyusun diagram fault tree guna mengidentifikasi sebab-akibat dari kejadian puncak (*top event*).

### 3. Evaluasi dan Validasi:

- Memeriksa diagram *fault tree* dengan bantuan ahli HSE dan manajemen proyek untuk memastikan akurasi hasil analisis.
- Merevisi diagram jika ditemukan ketidaksesuaian.

Tabel berikut menunjukkan jenis strategi penelitian yang dapat digunakan dalam studi berdasarkan panduan dari Yin (2009):

Tabel 2. Strategi penelitian

| Strategi      | Pertanyaan Penelitian             | Kontrol | Kontemporer |
|---------------|-----------------------------------|---------|-------------|
| Eksperimen    | Bagaimana, mengapa                | Ya      | Ya          |
| Survei        | Siapa, apa, dimana, berapa banyak | Tidak   | Ya          |
| Analisa Arsip | Siapa, apa, dimana, berapa banyak | Tidak   | Ya          |
| Sejarah       | Bagaimana, mengapa                | Tidak   | Tidak       |
| Studi Kasus   | Bagaimana, mengapa                | Tidak   | Ya          |

Sumber: Yin, 2009

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, strategi penelitian dalam studi ini dirangkum pada tabel berikut.

Tabel 3. Strategi pada penelitian ini

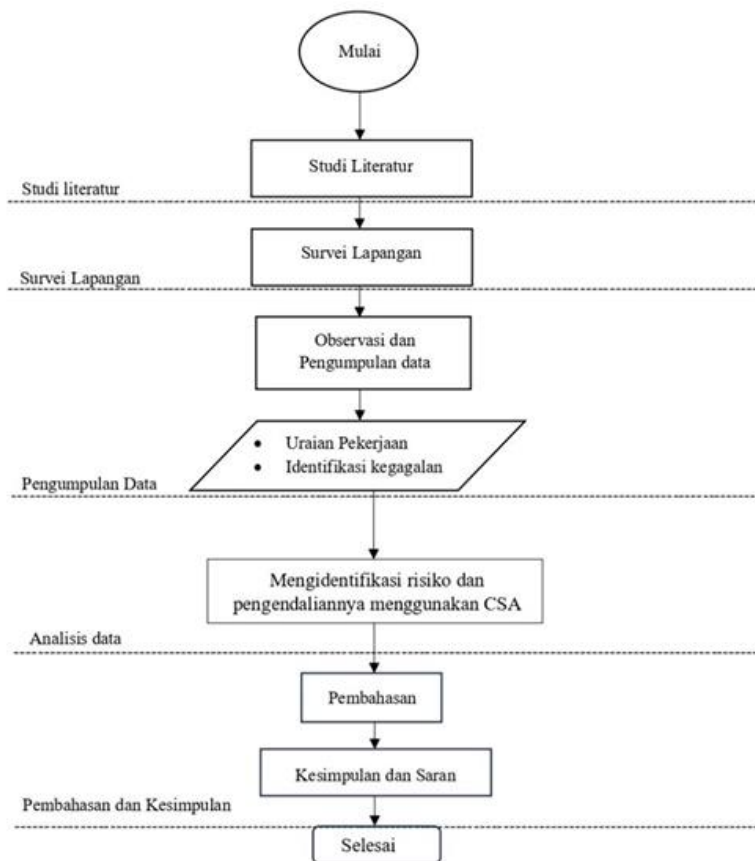
| Pertanyaan Penelitian                                                                                                                                                                                                                   | Strategi penelitian                                                           | Hasil yang diharapkan                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| RQ1: Apa saja jenis risiko yang paling signifikan terkait kecelakaan konstruksi pada proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port Tahap I & II?                                                                                             | Analisa arsip, studi literatur, dan validasi ahli/pakar                       | Jenis risiko yang signifikan pada proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port           |
| RQ2: Bagaimana metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) dapat diterapkan secara efektif untuk mengelola risiko kecelakaan konstruksi pada proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port, dan apa saja komponen kunci dalam analisis tersebut? | Survei kuesioner, analisis data menggunakan metode <i>Fault Tree Analysis</i> | Penerapan metode <i>Fault Tree Analysis</i> dan komponen kunci dalam analisis        |
| RQ3: Apa strategi mitigasi risiko yang paling tepat untuk mengurangi kecelakaan konstruksi pada proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port Tahap I & II?                                                                                  | Survei berupa validasi pakar/ahli dalam sesi diskusi/ <i>brainstorming</i>    | Strategi mitigasi risiko yang efektif untuk proyek Jalan Tol Akses Makassar New Port |

### 2.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dibuat untuk menentukan mengapa penelitian ini harus dilakukan dan untuk menjawab rumusan masalah yang timbul. Menurut Kumar (2011), pada proses tahapan penelitian terdapat tiga fase dengan beberapa langkah di dalamnya, yaitu:

1. Fase pertama merupakan fase untuk memutuskan hal apa yang akan diteliti dimana terdapat suatu langkah untuk mengidentifikasi fenomena dan permasalahan. Setelah mengetahui apa yang akan diteliti dari masalah yang ada maka nantinya akan didapatkan sebuah rancangan penelitian yang sesuai untuk mencapai tujuan penelitian yang dimaksudkan;
2. Fase kedua merupakan sebuah fase untuk merencanakan studi penelitian dengan langkah mengonsepkkan metodologi penelitian. Pengonsepan 34 metodologi penelitian ini nantinya akan berguna untuk mengetahui bagaimana cara untuk memperoleh jawaban dari rumusan masalah penelitian yang telah diidentifikasi. Kemudian tahap selanjutnya yaitu mengoleksi data dengan mengonstruksikan instrument penelitian; dan
3. Fase ketiga atau fase terakhir adalah melakukan penelitian. Langkah pada fase sebelumnya selanjutnya akan dilakukan pada fase ini seperti mengumpulkan data, menganalisis, dan mengolah data serta mendapatkan kesimpulan.

Pada penelitian ini dikonsepkan sebuah alur penelitian agar penelitian dapat berjalan secara efektif. Berikut diagram alir tahapan penelitian yang telah disusun dalam melakukan penelitian. Tahapan penelitian ini divisualisasikan melalui bagan alir pada gambar berikut.



Gambar 7. Bagan alir penelitian

## 2.4 Jenis dan Sumber Data

### 2.4.1 Jenis data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder dengan penjelasan sebagai berikut:

- a. **Data Primer:** Data primer dikumpulkan melalui observasi di lapangan, wawancara, dan kuesioner yang diisi oleh responden dari proyek konstruksi Jalan Tol Akses *Makassar New Port*. Kuesioner diisi secara online.
- b. **Data Sekunder:** Data sekunder diperoleh melalui buku, jurnal, dan dokumen terkait proyek Jalan Tol Akses *Makassar New Port*. Referensi utama meliputi teori, konsep dasar, dan metode yang mendukung penelitian ini. Studi kasus proyek digunakan untuk validasi model (Harris, 2018; O'Leary, 2017).

**Sumber data.** Pada Penelitian ini digunakan sumber data sebagai berikut, yaitu:

#### 1. Data Primer

##### a. Wawancara

Wawancara digunakan untuk mendapatkan informasi mendalam dari pekerja, supervisor, dan manajemen proyek terkait pengalaman mereka, persepsi tentang risiko kecelakaan, dan tindakan pengendalian yang ada. Prosedur wawancara adalah sebagai berikut:

- **Persiapan:** Menyusun panduan wawancara dengan pertanyaan terbuka mengenai aspek keselamatan kerja, risiko, dan pengendalian.
- **Pemilihan Responden:** Memilih responden yang relevan seperti pekerja yang berpengalaman, supervisor, dan ahli keselamatan.
- **Pelaksanaan:** Melakukan wawancara secara tatap muka.
- **Pencatatan dan Analisis:** mencatat jawaban responden untuk dianalisis lebih lanjut.

##### b. Studi Dokumen

Studi dokumen melibatkan pengumpulan dan analisis dokumen yang relevan dengan proyek dan keselamatan kerja, seperti laporan keselamatan, catatan kecelakaan, dan SOP. Prosedur studi dokumen adalah sebagai berikut:

- **Identifikasi Dokumen:** Mengidentifikasi dan mengumpulkan dokumen yang relevan, termasuk laporan keselamatan, catatan kecelakaan, dan prosedur operasi standar.
- **Analisis Dokumen:** Meninjau dan menganalisis isi dokumen untuk mendapatkan informasi tentang risiko dan tindakan pengendalian yang ada.

##### c. Observasi

Observasi dilakukan dengan mengamati langsung aktivitas di lokasi proyek untuk mengidentifikasi kondisi kerja, potensi bahaya, dan perilaku pekerja. Observasi memungkinkan peneliti untuk mendapatkan gambaran nyata mengenai situasi dan kondisi di lapangan. Prosedur observasi adalah sebagai berikut:

- **Persiapan:** Membuat lembar observasi dengan kategori yang jelas (misalnya, kondisi alat, penggunaan APD, dan aktivitas berisiko).

- Pelaksanaan: Mengamati pekerja di lapangan pada berbagai waktu dan situasi kerja.
- Pencatatan: Mencatat semua temuan dalam lembar observasi, termasuk deskripsi visual dan perilaku pekerja yang dapat menimbulkan risiko.

## 2. Data Sekunder

Berikut adalah beberapa jenis data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini:

- Literatur terkait.
- Peraturan perundang-undangan Republik Indonesia tentang K3 dan SMK3.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Permen PUPR) No. 10/PRT/M/2021 Tahun 2021 tentang Pedoman SMK3.
- Data potensi bahaya dan tindakan pengendalian dari penelitian terdahulu.

## 2.5 Skala Pengukuran

Skala pengukuran digunakan untuk menilai risiko, dampak, dan kemungkinan. Skala Likert atau skala lainnya dapat digunakan untuk mengukur variabel-variabel tersebut (Fink, 2013; McLeod, 2014). Matriks risiko berikut digunakan untuk menilai tingkat kemungkinan (*likelihood*) dan dampak (*consequence*) dari risiko yang diidentifikasi pada pekerjaan girder dan pier:

Tabel 4. Matriks risiko

| Likelihood<br>Konsekuensi | 1  | 2 | 3  | 4  | 5  |
|---------------------------|----|---|----|----|----|
| A                         | VL | L | L  | M  | H  |
| B                         | L  | L | M  | H  | H  |
| C                         | L  | M | H  | H  | VH |
| D                         | M  | H | H  | VH | VH |
| E                         | H  | H | VH | VH | VH |

Sumber: ISO 31000, 2021

Keterangan:

- VH (Sangat Tinggi) : Harus selalu monitor setiap akan ada pekerjaan terkait  
H (Tinggi) : Harus selalu dimonitor (seminggu sekali)  
M (Medium) : Secara periodik dimonitor (sebulan sekali)  
L (Rendah) : Sese kali dimonitor (Setiap enam bulan sekali)  
VL (Sangat Rendah) : Tidak perlu tindakan khusus

Tabel 5. Dampak kecelakaan konstruksi

| Kategori | Dampak Terhadap Keselamatan & Kesehatan |
|----------|-----------------------------------------|
| 1        | Tidak ada dampak                        |
| 2        | Membutuhkan P3K                         |
| 3        | Membutuhkan perawatan medis             |
| 4        | Menyebabkan cacat permanen              |
| 5        | Menyebabkan kematian                    |

Tabel 6. Kemungkinan/probabilitas

| Rating | Impact        | Frekuensi                                             |
|--------|---------------|-------------------------------------------------------|
| 5      | Sangat sering | Kejadian terjadi hampir setiap waktu atau setiap hari |
| 4      | Sering        | Kejadian terjadi lebih dari sekali dalam satu bulan   |
| 3      | Kadang-kadang | Kejadian terjadi lebih dari sekali dalam satu tahun   |
| 2      | Jarang        | Kejadian terjadi sekali dalam satu tahun              |
| 1      | Tidak pernah  | Kejadian sama sekali tidak pernah terjadi             |

## 2.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian terdiri dari:

- **Variabel Dependen**

Variabel dependen dalam penelitian ini adalah risiko kecelakaan dan mitigasinya pada pekerjaan girder dan pier. Risiko kecelakaan meliputi frekuensi kecelakaan, tingkat keparahan kecelakaan seperti kerusakan material, cedera pekerja (P3K, cacat permanen, atau kematian), serta waktu yang hilang akibat kecelakaan. Upaya mitigasi risiko mencakup pemeriksaan alat dan material secara berkala, pelatihan keselamatan kerja bagi operator *crane* dan pekerja, serta pengawasan kondisi cuaca sebelum pengangkatan *girder*.

- **Variabel Independen**

Variabel independen terdiri dari empat faktor risiko utama. Pertama, faktor pekerja, yang meliputi keahlian dan pengalaman kerja operator *crane* atau pekerja, kepatuhan dalam menggunakan alat pelindung diri (APD), serta tingkat kelelahan akibat beban kerja. Kedua, faktor peralatan, yang mencakup kondisi *crane* dan alat berat lainnya, serta pemeliharaan rutin dan inspeksi sebelum digunakan. Ketiga, faktor material, yang meliputi kualitas bekisting, *girder*, dan beton, serta cara pengangkutan dan penanganan material untuk mencegah kerusakan. Keempat, faktor lingkungan, yang mencakup kondisi cuaca ekstrem yang dapat memengaruhi proses pengangkatan *girder*, ketinggian lokasi kerja yang meningkatkan risiko jatuh, dan akses keselamatan publik di sekitar lokasi proyek. Dengan menganalisis variabel-variabel ini, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor risiko dominan dan menyusun strategi mitigasi yang efektif dalam pekerjaan *girder* dan *pier* pada proyek pembangunan jalan tol.

Tabel 7. Variabel penelitian

| Variabel             | Definisi                                             | Cara Pengukuran                                     |
|----------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Frekuensi Kecelakaan | Jumlah kejadian kecelakaan selama proyek berlangsung | Survei kuesioner, observasi langsung, dan wawancara |
| Kelelahan Pekerja    | Tingkat kelelahan yang dialami pekerja lapangan      | Survei kuesioner dengan skala Likert                |
| Lingkungan Kerja     | Kondisi fisik dan keselamatan di lokasi proyek       | Survei Kuesioner dan wawancara                      |

## 2.7 Metode Analisa Data *Fault Tree Analysis*

Subbab ini akan membahas langkah-langkah penerapan *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam analisis risiko konstruksi pada pekerjaan *Girder* dan *Pier*. Langkah-langkah FTA meliputi:

1. **Identifikasi Risiko dan Kejadian Puncak:** Langkah pertama dalam FTA adalah mengidentifikasi kejadian puncak (*top event*) yang menjadi fokus analisis risiko. Pada penelitian ini, kejadian puncak adalah potensi kecelakaan konstruksi yang dapat terjadi selama pekerjaan *girder* dan *pier*, seperti kejatuhan *girder* atau kegagalan stabilitas *pier*.
2. **Pemecahan Kejadian Puncak ke dalam Faktor Penyebab (*Fault Tree Construction*):** Setelah kejadian puncak ditetapkan, analisis dilanjutkan dengan menyusun diagram pohon kesalahan (*fault tree*) untuk memecah kejadian puncak ke dalam faktor-faktor penyebab. Dalam hal ini, setiap cabang dalam pohon kesalahan akan menunjukkan penyebab langsung dan akar penyebab (*root causes*) yang berkontribusi terhadap kecelakaan konstruksi. Diagram ini menggunakan gerbang logika seperti AND dan OR untuk menunjukkan interaksi antara berbagai faktor penyebab.
3. **Analisis Penyebab-Penyebab Utama:** Diagram pohon kesalahan yang terbentuk kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi penyebab-penyebab utama yang berpotensi meningkatkan risiko kecelakaan. Penyebab utama dalam pekerjaan *girder* dan *pier* dapat mencakup faktor seperti kondisi *crane*, keahlian operator, cuaca, dan kualitas material.
4. **Penentuan Langkah Mitigasi:** Berdasarkan analisis penyebab utama, langkah-langkah mitigasi dirancang untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kejadian puncak atau meminimalkan dampaknya jika terjadi. Langkah mitigasi dapat mencakup peningkatan pelatihan operator, pemeliharaan rutin alat berat, dan pemantauan kondisi cuaca sebelum pengangkatan dilakukan.