

## **Analisis Risiko Penyebab Keterlambatan Pada Proyek Pembangunan Pondasi Silo Phase 3 Ø 24,50 M Menggunakan Metode FTA (*Fault Tree Analysis*)**

### **Cost And Time Risk Analysis Of Delay Cause In The Construction Project Of Silo Foundation Phase 3 Ø 24,50 M Using Fault Tree Analysis (FTA)**

**Rizki Alfianidah<sup>\*</sup>, Avisha Gita Prafitasiwi**

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik-Indonesia*

*\*Email: [rizkialfi2549@gmail.com](mailto:rizkialfi2549@gmail.com)*

---

**ABSTRAK:** Proyek Konstruksi adalah bentuk usaha yang melibatkan berbagai pihak dan membutuhkan tenaga kerja, material bangunan, alat berat, metode pelaksanaan, biaya, dan waktu untuk menghasilkan infrastruktur atau bangunan tertentu. Fault Tree Analysis (FTA) adalah metode untuk menemukan risiko yang menyebabkan kegagalan. Ini dimulai dengan asumsi kegagalan dari kejadian puncak (Top Event) dan merinci penyebabnya hingga kegagalan dasar (Root Cause). FTA bafokus pada kondisi keterlambatan dan menelusuri penyebabnya secara terperinci. Akar permasalahan, analisis risiko keterlambatan dengan metode FTA harus dilakukan pada proyek pembangunan Pondasi Silo Phase 3 Ø 24,50 m yang berlokasi di Jl. KIG Raya Barat Kav. M No. 3-4. Hasil penelitian ini memberikan wawasan mendalam tentang kontribusi relatif dari setiap faktor risiko terhadap keterlambatan proyek pondasi silo. Implikasi dari temuan ini dapat membantu para pengambil keputusan dan manajer proyek dalam merancang strategi manajemen risiko yang efektif. Dengan memahami akar penyebab potensial keterlambatan, proyek konstruksi dapat diarahkan untuk mengimplementasikan langkah-langkah pencegahan yang lebih efisien.

Kata kunci : analisa risiko, keterlambatan proyek, Pondasi Silo, Fault Tree Analysis

**ABSTRACT:** Construction projects are activities involving various parties and require labor, building materials, heavy tools, methods of execution, costs, and time to produce a particular infrastructure or building. Fault Tree Analysis (FTA) is a method to find the risks that lead to failure. It starts with the assumption of the failure of the Top Event and details the cause to the underlying failure. (Root Cause). The FTA focuses on the delay conditions and tracks the causes in detail. The roots of the problem, the risk analysis of delays with the FTA method should be carried out on the construction project of the Silo Phase 3 Ø 24.50 m foundation located at the JL. KIG Raya West Kav. M No. 3-4. The results of this study provide deep insights into the relative contributions of each risk factor to project delays. The implications of these findings can assist decision-makers and project managers in designing effective risk management strategies. Understanding the potential root causes of delays enables construction projects to implement more efficient preventive measures.

**Keywords :** Risk Analysis, Project Delay, Silo Foundation, Fault Tree Analysis

## 1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi adalah kegiatan yang melibatkan berbagai pihak dan membutuhkan tenaga kerja, material bangunan, alat berat, metode pelaksanaan, biaya, dan waktu untuk menghasilkan infrastruktur atau bangunan tertentu (Amalia et al., 2023).

Risiko adalah sesuatu yang melekat dalam setiap kegiatan, terutama dalam bangunan. Karena faktor ketidakpastian. Manajemen risiko proyek meliputi perencanaan, identifikasi, analisis, perencanaan respon, dan pengendalian risiko (Laia et al., 2023).

Keterlambatan proyek didefinisikan sebagai pekerjaan yang tertunda atau lebih lama dari waktu yang ditetapkan dalam kontrak kerja, dan dalam beberapa kasus dapat mengakibatkan klaim (Rejeki Purba & Yosefa Hutajulu, 2023).

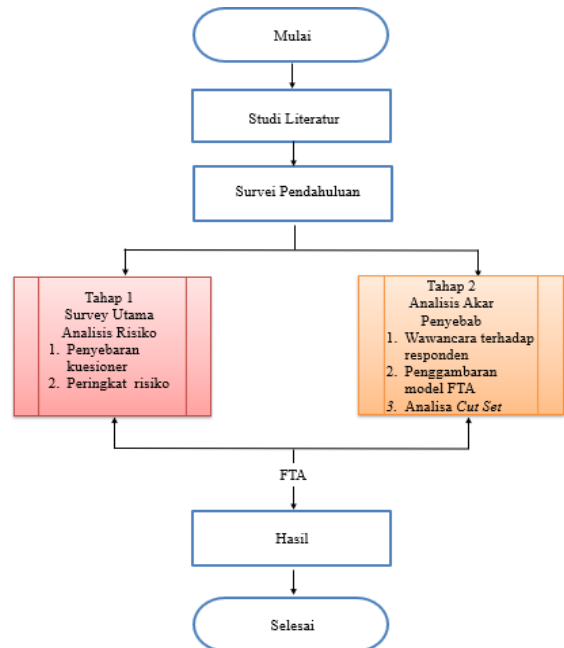
Risiko yang menyebabkan kegagalan. *Fault Tree Analysis* (FTA) dimulai dengan asumsi kegagalan dari kejadian puncak (Top Event) dan menjelaskan penyebabnya hingga kegagalan dasar (*Root Cause*). FTA berfokus pada kondisi keterlambatan dan menelusuri penyebabnya secara terperinci (Dyna Analysa, 2020).

Ada akar permasalahan, analisis risiko keterlambatan dengan metode FTA harus dilakukan pada proyek pembangunan Pondasi Silo Phase 3 Ø 24,50 m yang berlokasi di Jl. KIG Raya Barat Kav. M No. 3-4, meskipun bangunan pondasi silo memiliki risiko yang tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan pembangunan gedung yang berlantai banyak tetapi perlu juga adanya analisis risiko yang terjadi di setiap aktivitas pekerjaan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Proses Penelitian

Studi ini dilakukan secara sistematis sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis risiko dan analisis akar penyebab adalah dua langkah utama dari kerangka kerja yang disarankan. Langkah – langkah ini dapat digunakan untuk menganalisis risiko dan menentukan penyebab utama dari masalah secara keseluruhan. Gagasan penelitian berikut :



Gambar 2. 1 Bagan Alir Penelitian

### 2.1.1. Metode Fault Tree Analysis (FTA)

Menurut (Tri Sanjoyo et al., 2021) dilakukan dalam proses analisis *Fault Tree Analysis* (FTA) terdiri dari lima tahapan, yaitu

1. Mendefinisikan masalah dan kekurangan sistem yang ditemukan.
2. Membuat model *Fault Tree* di grafik.
3. Cari dan temukan bagian cut set minimal dari analisis Fault Tree.

Kombinasi minimal *cut set* yang digunakan adalah :

- a. Kombinasi minimal dari *Cut Set Or Gate* :

$$T = X1 + X2 + \dots + Xn$$

$$P(T) = P(X1 \cup X2 \cup \dots \cup Xn)$$

$$= P(X1) + P(X2) + P(Xn) - (P(X1) * P(X2) * \dots * P(Xn)) \dots (1)$$

4. Meneliti hasil *Fault Tree* secara kualitatif.
5. Meneliti hasil *Fault Tree* secara kuantitatif.

Tabel 2.1 Gate Symbol

No.	Gate Symbol	Nama dan Keterangan
1		And gate, output event berlaku ketika seluruh input event berjalannya pada waktu yang sama.
2		Or gate, output event berlaku ketika setidaknya sebuah input event sedang berjalannya.
3		Not and gate, output event berlaku ketika paling minimal 1 output dari n input event sedang berjalannya.
4		Exclusive OR gate, output event berlaku ketika sebuah input event, namun tidak sedang berjalannya.
5		Inhibit gate, input menciptakan output ketika conditional event telah ada.
6		Priority and gate, output event berjalannya dari kanan ataupun kiri.
7		Xor gate, output event berjalannya ketika input event tidak berjalannya.

**Tabel 2.2** Symbol Event

No.	Simbol Event	Nama dan Keterangan
1		Event, memperlihatkan peristiwa pada tingkatan teratas (top event) pada pohon kesalahan.
2		Rectangle, memperlihatkan peristiwa pada tingkatan medium (intermediate final event) pada pohon kesalahan.
3		Circle, memperlihatkan peristiwa pada tingkatan terbawah (lower level failure event) atau dapat diartikan dengan peristiwa paling mendasar (basic event).
4		Triangle, memperlihatkan peristiwa yang tidak terkuas (undeveloped event). Peristiwa yang tidak terkuas bisa diartikan di pohon kesalahan serta dengan anggapan sebagai peristiwa paling dasar yang dapat mengakibatkan kerusakan.
5		House, memperlihatkan peristiwa manusia (human event) serta merupakan peristiwa terkontrol (supra). Pelaksanaan ini bisa mengakibatkan kerusakan.

Sumber : (Sopiyah & Isyah Salimah, 2020)

### 2.1.2. Tahapan Pendahuluan

Pada titik ini termasuk serangkaian proses awal penelitian, seperti perumusan latar belakang, perumusan masalah, penentuan tujuan penelitian, dan studi literatur.

#### 1. Studi Literatur

Peneliti menemukan dan menjelaskan variabel penelitian. Identifikasi variabel penelitian adalah aktivitas yang didokumentasikan variabel risiko keterlambatan proyek pembangunan pondasi silo.

#### 2. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan untuk memulai, ini dapat dilakukan dengan melakukan wawancara dengan beberapa responden, dalam hal ini para ahli akademis diwawancarai. Persyaratan survei pendahuluan adalah responden harus memahami masalah pembangunan pondasi silo dan memiliki pengalaman yang cukup dalam pekerjaannya. Kuesioner digunakan untuk menggabungkan variabel – variabel yang dikumpulkan dari studi literatur sebelumnya.

### 2.1.3. Tahap 1 : Analisa Risiko

Tahap ini proses awal dalam manajemen risiko yang melibatkan identifikasi, penilaian, dan pemahaman terhadap berbagai risiko yang mungkin terjadi dalam suatu proyek atau aktivitas. Pada tahap ini, fokus utama adalah mengidentifikasi potensi ancaman (risiko negatif) dan peluang (risiko positif) yang dapat mempengaruhi pencapaian tujuan proyek.

#### 1. Penyusunan Kuesioner Survei Risiko

Formulir kuesioner survei risiko terdiri dari banyak bagian. Data demografis seperti usia, pendidikan, pekerjaan, nama institusi, posisi jabatan, pengalaman kerja, dan nomor telepon dan email diminta dalam bagian pertama. Bagian kedua menggunakan skala likert untuk mengukur variabel risiko. Responden diminta skala *likert* 1- 5. Probabilitas (P) diukur seberapa sering pekerjaan terlambat, sementara dampak (I) diukur dari tingkat hambatan waktu yang terjadi.

#### 2. Sasaran Responden

Kriteria populasi dan sampel yang dipilih untuk survei ini memenuhi sasaran responden. Penelitian ini mengajukan sasaran survei kepada akademisi dan pihak yang terlibat dalam pembangunan proyek pondasi silo.

#### 3. Analisa Risiko

Tujuan analisis risiko adalah untuk menentukan tingkat risiko dan memahami seberapa besar bahaya atau kerugian dari suatu kejadian risiko. Selanjutnya, setiap variabel risiko yang ditemukan dari literatur yang relevan diukur. Didasarkan pada perspektif responden, yang mengevaluasi kemungkinan dan efek dari variabel kuesioner digunakan untuk mengumpulkan data skala likert (1-5) digunakan untuk menilai kemungkinan atau probabilitas tersaji.

**Tabel 2.3** Kategori dan Nilai Probabilitas

Kategori	Nilai	Keterangan
SS (Sangat Sering)	1	Jarang terjadi, hanya terjadi pada kondisi tertentu
S (Sering)	2	Kadang terjadi pada kondisi tertentu
C (Cukup)	3	Terjadi pada kondisi tertentu
J (Jarang)	4	Sering terjadi pada setiap kondisi
SJ (Sangat Jarang)	5	Selalu terjadi pada setiap kondisi

Sumber : (Adwa Metdifa Husna, 2023)

**Tabel 2.4** Kategori dan Nilai Dampak

Kategori	Nilai	Keterangan
SB (Sangat Besar)	1	Cacat sementara, menyebabkan kenyamanan jangka pendek yang kecil, kemudahan jadwal tidak akan berpengaruh cukup besar
B (Besar)	2	Kekurangan kinerja produk di bidang teknis (kecil) penting, Kemudahan jadwal mencapai < 7% total durasi
S (Sedang)	3	Kekurangan kinerja produk di bidang keprawatan sekunder, Kemudahan jadwal mencapai 7 – 10% total durasi
K (Kecil)	4	Kekurangan kinerja produk minor di area yang sangat penting (besar), Kemudahan jadwal mencapai 10 – 20% total durasi
SK (Sangat Kecil)	5	Kepagitan produk yang signifikan untuk memenuhi salah satu tujuan utama (penting), Kemudahan jadwal mencapai > 20% total durasi

Sumber : (Adwa Metdifa Husna, 2023)

Rumus yang digunakan untuk metode *Severity indeks* adalah :

$$SI = \frac{\sum_{i=0}^4 aiXi}{4 \sum_{i=0}^4 aiXi} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

- ai = Konstanta Penilaian
- xi = Frekuensi Penilaian
- i = 0,1,2,3,4,5,.....(n)

**Tabel 2.5** Tabel Matriks *Probability dan Impact*

Likelihood	Severity	Probability				
		Negligible (1)	Minor (2)	Moderate (3)	Major (4)	Extreme (5)
Rare (1)	Low (1x1)	Low (2x2)	Low (3x3)	Low (4x4)	Medium (1x5)	
Unlikely (2)	Low (2x1)	Low (2x2)	Medium (2x3)	Medium (2x4)	High (2x5)	
Possible (3)	Low (3x1)	Medium (3x2)	Medium (3x3)	High (3x4)	High (3x5)	
Likely (4)	Low (4x1)	Medium (4x2)	High (4x3)	High (4x4)	Very High (4x5)	
Almost Certain (5)	Medium (5x1)	High (5x2)	High (5x3)	Very High (5x4)	Very High (5x5)	

Sumber : Sopiyah & Isyah Salimah, 2020)

*Keterangan :*

- Low = 1
- Medium = 2
- High = 3

Very High = 4

Rumus yang digunakan untuk pengukuran nilai risiko adalah :

$$R = P \times I \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

R = Tingkat Risiko

P = Probability

I = Impact

### 2.1.4. Tahap 2 : Analisa Akar Penyebab

#### 1. Penyusunan Wawancara *Expert*

Pertama, wawancara langsung dilakukan, dan draf model FTA dinilai dan dibuat berdasarkan wawancara dengan pakar. Sasaran ahli yang diwawancarai adalah pihak atau individu yang memiliki pengetahuan dan pengalaman yang relevan dengan subjek penelitian.

#### 2. Tahapan Wawancara terhadap Responden

Pada tahapan wawancara, peneliti melakukan wawancara secara langsung atau tatap muka di lokasi proyek dengan satu responden. Sebelum melakukan wawancara peneliti menjelaskan secara terperinci tentang FTA dan variabel – variabel yang sudah tertera di tabel, kemudian peneliti memulai wawancara dengan responden. Peneliti memulai menanyakan pertanyaan satu persatu sesuai variabel yang sudah di siapkan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Tahapan Pendahuluan Penelitian

#### 3.1.1. Data Penelitian

Data penelitian dikumpulkan melalui kuesioner dan wawancara dengan responden. Data time schedule diperoleh dari proyek, dan responden kemudian diwawancarai untuk mendapatkan data yang berfungsi untuk mengetahui risiko penyebab keterlambatan pada proyek pondasi silo Phase 3 Ø 24,50 m.

#### 3.1.2. Identifikasi Variabel Penelitian

Proyek pondasi silo, variabel risiko keterlambatan ditemukan. Menurut penelitian sebelumnya, 33 variabel dianggap sesuai dengan tujuan penelitian.

#### 3.1.3. Survei Pendahuluan

Survei pendahuluan dilakukan dengan tujuan untuk mengumpulkan data dan informasi dari responden untuk menentukan relevansi dan keberlanjutan penelitian serta untuk memastikan bahwa variabel yang diidentifikasi dalam literatur sesuai dengan teks penelitian.

##### 1. Profil Responden

Menilai masing – masing variabel, survei pendahuluan ini melibatkan wawancara dengan lima

ahli. Tiga dari lima ahli yang diwawancarai terdiri dari akademisi bidang ilmu struktur, dan dua orang dari pihak proyek yang berkaitan langsung tentang risiko.

#### 2. Analisis dan Pembahasan Survei Pendahuluan

Interval skala semantik dari 1 hingga 5 digunakan untuk memeriksa relevansi variabel penelitian. Dengan itu, nilai mean dan standar deviasi (SD) ditunjukkan . nilai 3,00 dianggap sebagai nilai tengah dari skala nilai, jadi nilai 3,00 menunjukkan bahwa variabel yang dimasukkan dalam penelitian ini cukup relevan dengan topik penelitian. Dari total 35 variabel, didapatkan 33 variabel relevan dan 2 variabel tidak relevan. Selanjutnya, variabel relevan dapat digunakan untuk survei utama.

### 3.2. Survei Utama

#### 3.2.1. Data Penelitian

Data penelitian ini diperoleh melalui kuesioner yang diberikan kepada responden. Tujuan dari kuesioner ini adalah untuk menghitung tingkat atau peristiwa risiko yang diukur berdasarkan tingkat probabilitas (P) dan dampak (I) untuk masing – masing variabel yang diamati. Untuk memastikan bahwa responden dapat memahami pertanyaannya, semua kuesioner dibagikan secara langsung atau bertatap muka dengan mereka.

#### 3.2.2. Analisis Risiko

Semua peristiwa berbahaya diurutkan menurut tingkat risikonya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar, probabilitas dan dampak matrix digunakan sebagai pedoman untuk menentukan tingkat risiko. Tabel matriks menunjukkan bahwa sebelas peristiwa risiko termasuk dalam kategori nilai risiko “tinggi”, dengan keterangan orange (A1,D3,I1,D2,G1,H1,H5,I2,J1,J2,J3), dua puluh satu variabel kategori risiko “sedang” yang memiliki keterangan “kuning” (A2,D4,E2,E3,B1,B2B3,C1,C2,C3,D1,E1,E4,F1,F2,F3,G3,H2,H3,H4), dan satu variabel kategori risiko “rendah” yang diberi keterangan hijau (G2).

5			• A1 • D3 • I1	• I2 • G1 • H1,H3 • I2 • J1,J2,J3	Very High
4			• B1,B2,B3 • C1,C2,C3 • D1		High
3	• A2,A3 • D4 • E2,E3		• E1,E4 • F1,F2,F3 • G3		High
2		• G2	• H2,H3,H4		Medium
1					Low
	1	2	3	4	5

Tabel 3.1 Hasil Tabel Matriks Risiko

Tabel 3.2 Rekapitulasi Tingkat Risiko

	Variabel Risiko	Nilai Probabilitas (P)	Nilai Dampak (I)	Nilai Risiko (P x I)	Kategori
A1	Change Order (Perubahan pada proyek konstruksi yang melibatkan penambahan, atau penghilangan pekerjaan setelah tanda tangan kontrak)	4	3	12	High
A2	Faktor lingkup atau kontrak, yaitu fakta bahwa pemilik belum membuat keputusan	2	3	6	Medium
A3	Perubahan jumlah biaya yang dibayarkan oleh pemilik	2	3	6	Medium
B1	Kurangannya koordinasi pelaksanaan	3	3	9	Medium
B2	Terdapatnya pekerjaan ulang	3	3	9	Medium
B3	Perubahan konstruksi yang telah jadi	3	3	9	Medium
C1	Kerusakan dan rendahnya produktivitas peralatan	3	3	9	Medium
C2	Kekurangan Peralatan	3	3	9	Medium
C3	Kesulitan mencari tempat penyewaan peralatan	3	3	9	Medium
D1	Keterlambatan pengiriman material	3	3	9	Medium
D2	Kualitas material yang buruk	4	4	16	High
D3	Kerusakan material di tempat penyimpanan	3	4	12	High
D4	Kelangkaan karena bahan yang khusus	3	2	6	Medium
E1	Adanya perubahan desain	3	3	9	Medium
E2	Kesalahan desain	2	3	6	Medium
E3	Data desain yang tidak lengkap	2	3	6	Medium
E4	Metode pelaksanaannya yang salah	3	3	9	Medium
F1	Tenaga kerja yang tidak terampil	3	3	9	Medium
F2	Penggantian pekerja baru	3	3	9	Medium
F3	Jumlah karyawan yang tidak memadai atau tidak sesuai dengan tugas yang ada	3	3	9	Medium
G1	Keterlambatan yang disebabkan oleh cuaca	4	4	16	High
G2	Tidak tersedianya utilitas (Listrik dan air)	2	2	4	Low
G3	Akses yang sulit ditempuh ke lokasi proyek	3	3	9	Medium
H1	Kurangannya pendanaan untuk proyek	4	4	16	High
H2	Kenaikan upah pekerja	3	3	9	Medium
H3	Estimasi harga bahan yang tidak tepat	3	3	9	Medium
H4	Keinaikan harga bahan material	3	3	9	Medium
H5	Terhambatnya pembayaran oleh pemilik	4	4	16	High
I1	Beencana alam (Gempa, banjir, tanah longsor, kebakaran)	3	4	12	High
I2	Terjadinya kecelakaan kerja	4	4	16	High
J1	Peikeirjaan tidak dilakukan sesuai prosedur K3 yang ditetapkan	4	4	16	High
J2	Kurang meimadainya fasilitas K3 pendukung di lapangan	4	4	16	High
J3	Saat beikeirja, peikeirja tidak meinggunakan alat keiseilamatan	4	4	16	High
H4	Kenaikan harga bahan material	3	3	9	Medium
H5	Terhambatnya pembayaran oleh pemilik	4	4	16	High
I1	Bencana alam (Gempa, banjir, tanah longsor, kebakaran)	3	4	12	High
I2	Terjadinya kecelakaan kerja	4	4	16	High
J1	Pekerjaan tidak dilakukan sesuai prosedur K3 yang ditetapkan	4	4	16	High

Sumber : (Olahan peneliti, 2024)

### 3.3. Analisis Akar Penyebab dengan FTA

#### 3.3.1 Pengambilan Data

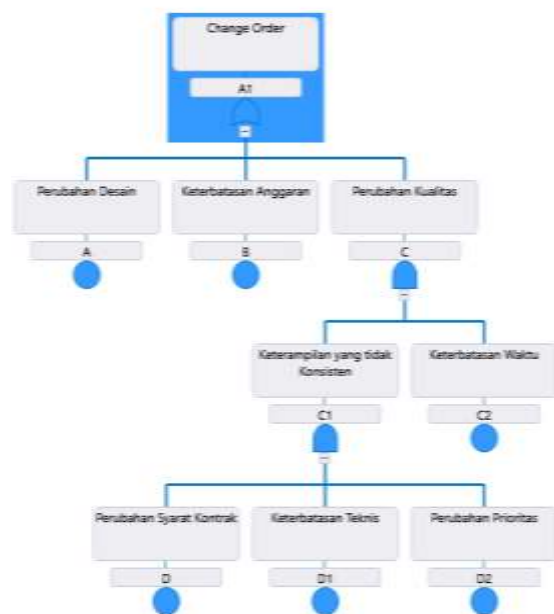
Peristiwa dasar, juga dikenal sebagai peristiwa akar penyebab, diidentifikasi melalui penelitian dan kemudian dinilai berdasarkan pendapat ahli melalui wawancara untuk membantu proses pengembangan FTA, wawancara dan drafnya disusun.

#### 3.3.2 Profil Expert

Satu ahli yang berhasil diwawancarai terkait pembentukan FTA yaitu dengan latar belakang wakil yang bertanggung jawab atas proyek tersebut dan salah satu kontraktor yang paham risiko dari proyek tersebut dengan pengalaman.

#### 3.3.3 Pembahasan Hasil Analisis Akar Penyebab

Hasil dari analisis risiko sebelumnya menunjukkan bahwa sebelas variabel risiko harus diperiksa untuk mengidentifikasi penyebab utamanya : A1, D2, D3, G1, H1, H5, I1, I2, J1, J2, J3. Gambar menunjukkan perkembangan FTA untuk sebelas peristiwa risiko ini.



**Gambar 3.1** FTA #1 Variabel Risiko A1

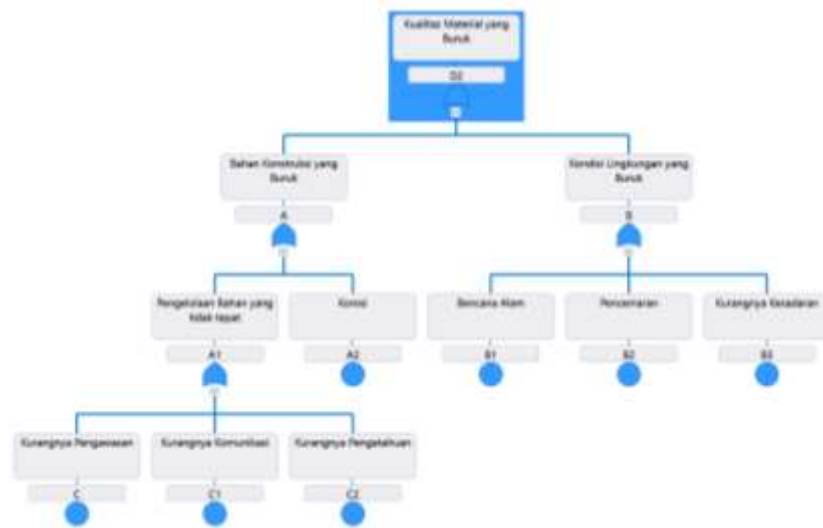
Sumber : Olahan Peneliti (2024)

Variabel risiko perubahan perjanjian (A1). Variabel risiko perubahan perjanjian adalah perubahan dalam proyek konstruksi yang meliputi penambahan, pengurangan, penambahan, atau penghilangan pekerjaan setelah kontrak ditandatangani.

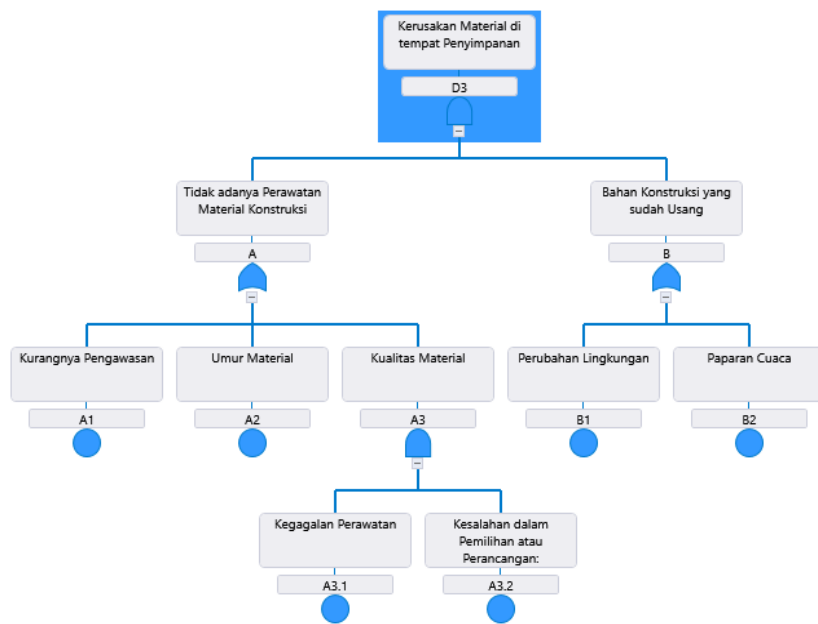
Berdasarkan FTA #1 ditemukan bahwa penyebab dasar kejadian risiko A1 adalah Perubahan desain (A) (Dhiu et al., 2023), keterbatasan anggaran (B), selain itu, perubahan kualitas disebabkan oleh satu peristiwa yaitu, keterbatasan waktu (C2).

Salah satu penyebab yang menurut ahli penting berdasarkan di lokasi proyek adalah perubahan desain (Setiawan et al., 2021) (A) . Keterbatasan teknis (D1)

dalam menerapkan desain baru juga dapat meningkatkan risiko kegagalan atau penundaan proyek. Selain itu, perubahan syarat kontrak (D) (Murtopo et al., 2022), seperti perubahan prioritas (D2) yang mengahruskan penyesuaian desain, dapat mempengaruhi manajemen risiko secara keseluruhan. Oleh karena itu, pengidentifikasian potensi risiko yang terkait dengan perubahan desain yang efektif sangat penting untuk menjaga keberhasilan proyek.



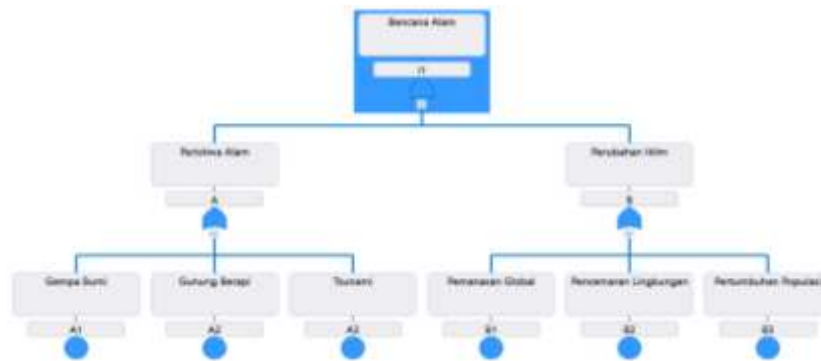
**Gambar 3.3** FTA #2 Variabel Risiko D2  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



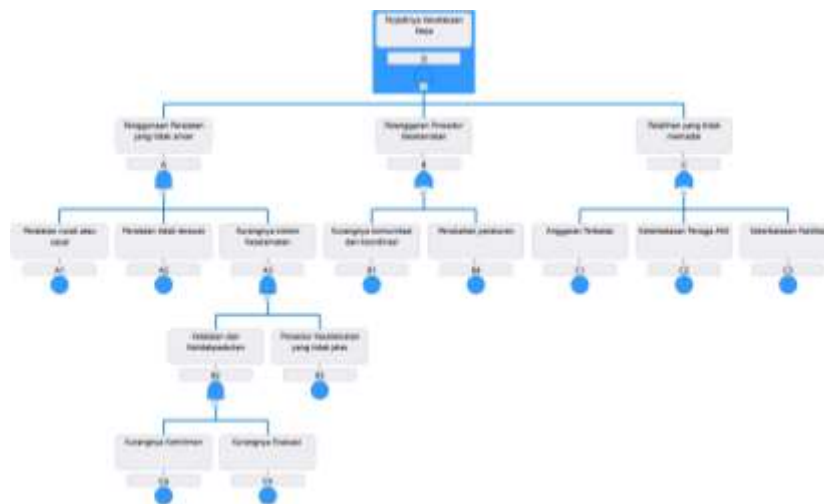
**Gambar 3.2** FTA #3 Variabel Risiko D3  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



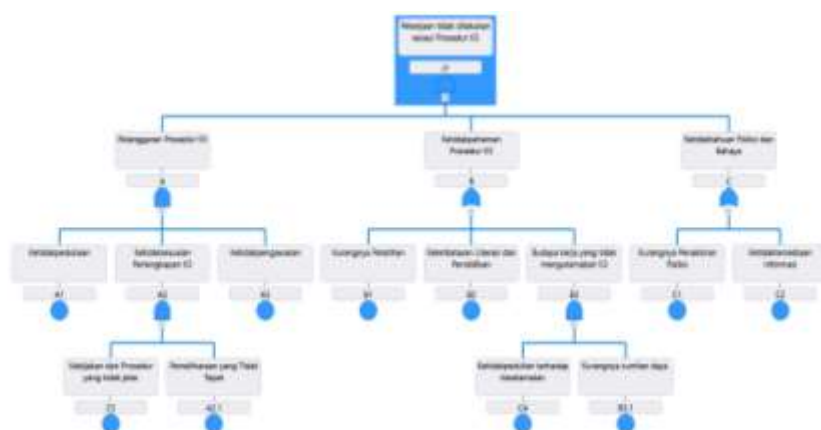




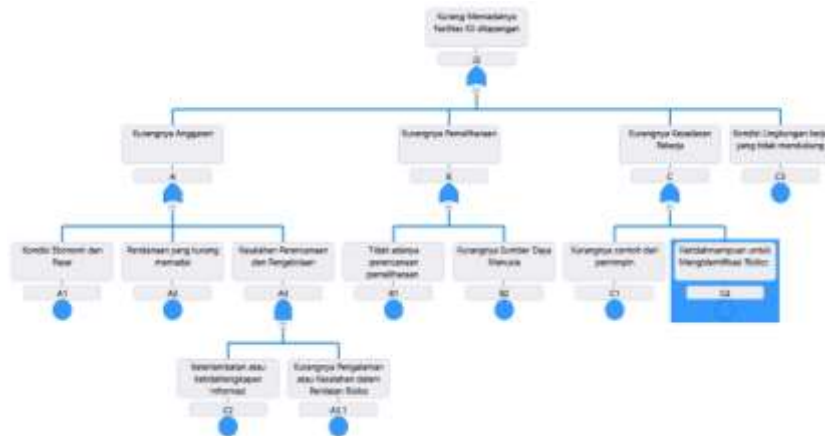
**Gambar 3.7** FTA #7 Variabel Risiko I1  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



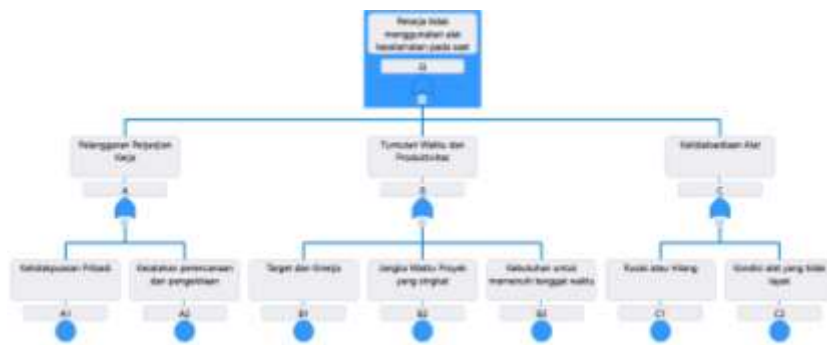
**Gambar 3.9** FTA #8 Variabel Risiko I2  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



**Gambar 3.8** FTA #9 Variabel Risiko J1  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



**Gambar 3.10** FTA #10 Variabel Risiko J2  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)



**Gambar 3.11** FTA #11 Variabel Risiko J3  
 Sumber : Olahan Peneliti (2024)

Tabel ini menunjukkan *set minimum cut* peristiwa risiko berdasarkan temuan diatas. Menurut (Anis Suiryaningrum, 2024), set cut adalah kombinasi dari pembentukan pohon kegagalan yang padagilirannya akan menghasilkan peristiwa puncak. *Minimum 1 cut set* adalah kumpulan acara dasar atau kombinasinya yang dapat menghasilkan acara tingkat tinggi. Untuk menghitung set minimum cut, penelitian ini me

gunakan aljabar boolean. Aljabar boolean adalah struktur aljabar yang memiliki basis biner antara 0 dan 1, sesuai dengan tipe data boolean, dimana 1 menunjukkan kebenaran dan 0 menunjukkan kesalahan. Dalam perhitungan top down aturan perkalian  $(A \times B)$  dan penjumlahan  $(A + B)$  untuk gerbang logika AND dan OR digunakan.

Tabel 3.1 Perhitungan Minimum Cut Set

FTA	Perhitungan	Minimum Cut Set
1	$A1 = (A + B + C) = [A + B + (C1 \times C2)] = [A + B + ((D \times D1 \times D2) \times C2)]$	(A), (B), (C2, D), (C2, D1), (C2, D2)
2	$D2 = (A + B) = [(A1 + A2)] + [(B1 + B2 + B3)] = [(C + C1 + C2) + A2] + [(B1 + B2 + B3)]$	(C), (C1), (C2), (A2), (B1), (B2), (B3)
3	$D3 = (A \times B) = [(A1 + A2 + A3)] \times [(B1 + B2)] = [(A1 + A2 + (A31 \times A32)] \times [(B1 + B2)]$	(A1, A31, A32, B1), (A2, A31, A32, B2)
4	$G1 = (A + B) = [(A1 + A2)] + [(B1 + B2)] = [(C+A9) + A2] + [(B1 + B2)] = [((A3+A4+D)+A9) + A2] + [(B1 + B2)] = [((A3 + A4 + (A5 \times A6 \times A7 \times A8)) + A9) + A2] + [(B1 + B2)]$	(A5, A6, A7, A8, A3), (A5, A6, A7, A8, A4), (A2), (B1), (B2)
5	$H1 = (A \times B \times C) = [(A1 \times A2 \times A3)] \times [(B1 + B2)] \times [(A4 + C1 + C2)] = [(C3 \times A5) \times A2 \times A3] \times [(B1 + B2)] \times [(A4 + C1 + C2)]$	(A2, A3, B1, A4, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, C1, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, C2, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, A4, C3, A5), (A2, A3, B2, A4, C3, A5), (A2, A3, B2, C3, A5, C1), (A2, A3, B2, C3, A5, C2)
6	$H5 = (A \times B \times C) = [(A1 + A2)] \times [(A3 \times B1 \times B2)] \times [(C1 + C2)] = [(A2 + (C3 \times A4)] \times [(A3 \times B1 \times B2)] \times [(C1 + (C2.1 \times C2.2))] = (A2C3 + A2A4) \times (A3 \times B1 \times B2) \times (C1C2.1 + C1C2.2)$	(C3, A4, A3, B1, B2, C1), (C3, A4, A3, B1, B2, C2.1, C2.2), (A2, A3, B1, B2, C1), (A2, A3, B1, B2, C2.1, C2.2)
7	$I1 = (A + B) = [(A1 + A2 + A3)] + [(B1 + B2 + B3)]$	(A1), (A2), (A3), (B1), (B2), (B3)
8	$I2 = (A + B + C) = [(A1 \times A2 \times A3)] + [(B1 + B4)] + [(C1 + C2 + C3)] = [A1 \times A2 \times (B2 \times B3)] + [(B1 + B4)] + [(C1 + C2 + C3)] = [A1 \times A2 \times ((C4 \times C5) \times B3)] + [(B1 + B4)] + [(C1 + C2 + C3)]$	(A1, A2, C4, C5, B3), (B1), (B4), (C1), (C2), (C3)
9	$J1 = (A + B + C) = [(A1 \times A2 \times A3)] + [(B1 + B2 + B3)] + [(C1 + C2)] = [(A1 \times A3 \times ((C3 \times A2.1)] + B1 + B2 + [(C4 \times B3.1)] + [(C1 + C2)]$	(C1), (C2), (A1, C3, A2.1, A3, B1, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B1, C2), (A1, C3, A2.1, A3, B2, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B2, C2), (A1, C3, A2.1, A3, C4, B3.1, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B3.1, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B3.1, C2), (A1, C3, A2.1, A3, B3.1, C3)
10	$J2 = (A + B + C + C3) = [(A1 + A2 + A3)] + [(B1 + B2)] + [(C1 + C4)] + C3 = [A1 + A2 + (C2 \times A3.1)] + (B1 + B2) + (C1 + C4) + C3$	(C2, C3.1, A1), (C2, C3.1, A2), (B1), (B2), (C1), (C4), (C3)
11	$J3 = (A + B + C) = [(A1 + A2)] + [(B1 + B2 + B3)] + [(C1 + C2)]$	(A1), (A2), (B1), (B2), (B3), (C1), (C2)

Sumber : (Olahan peneliti, 2024)

Menurut FTA yang dikembangkan sesuai dengan tabel, risiko order change (A1) seperti yang ditunjukkan dalam gambar dapat dihitung dengan menghitung minimum cut setnya. Berdasarkan aljabar boolean yang dijelaskan sebelumnya, variabel risiko A1 disebabkan oleh tiga peristiwa *intermediate event*, yaitu perubahan desain (A), keterbatasan anggaran (B), perubahan kualitas (C). *Intermediate event* tersebut dihubungkan oleh gerbang logika OR, yang berarti berlaku aturan penjumlahan ( $A + B + C$ ). *Intermediate event* (C) disebabkan oleh satu peristiwa yaitu, keterampilan yang tidak konsisten (C1) dan satu *basic event* yaitu, keterbatasan waktu (C2). Dua kejadian tersebut terhubung oleh gerbang AND logika, yang berarti menerapkan aturan perkalian ( $C1 \times C2$ ). *Intermediate event* (C1) memiliki tiga *basic event* yaitu, perubahan syarat kontrak (D), keterbatasan teknis (D1), perubahan prioritas (D2). Gerbang logika AND menghubungkan tiga peristiwa tersebut, yang berarti menerapkan aturan perkalian ( $D \times D1 \times D2$ ).

Risiko kejadian Change Order (A1) seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.18 bahwa ada 5 set *basic event* yaitu, (1) Perubahan desain (A), (2) Keterbatasan anggaran (B), (3) Kombinasi *basic event* Keterbatasan waktu dan Perubahan syarat kontrak (C2, D), (4) Kombinasi *basic event* Keterbatasan waktu dan keterbatasan teknis (C2, D1), (5) Kombinasi *basic event* Keterbatasan waktu dan perubahan prioritas (C2, D2). Hasil di atas menunjukkan bahwa variabel risiko A1 dapat terjadi jika salah satu dari lima cut set minimal terjadi secara bersamaan. Untuk peristiwa risiko lainnya (D2, D3, G1, H1, H5, I1, I2, J1, J2, dan J3), metode perhitungan yang sama dapat digunakan

## KESIMPULAN

1. Survei utama atau analisis risiko adalah tahap pertama dari gagasan kerangka kerja yang diusulkan dari tahapan sebelumnya menghasilkan sebelas variabel risiko dengan kategori nilai tinggi, yaitu Change Order (Perubahan pada proyek konstruksi yang mencakup penambahan, atau penghilangan pekerjaan setelah kontrak ditandatangani) (A1), Kualitas material yang buruk (D2), Kerusakan material di tempat penyimpanan (D3), Keterlambatan yang disebabkan oleh cuaca (G1), Kurangnya pendanaan untuk proyek (H1), Terhambatnya pembayaran oleh pemilik (H5), Bencana alam (Gempa, banjir, tanah longsor, kebakaran) (I1), Terjadinya kecelakaan kerja (I2), Pekerjaan tidak dilakukan sesuai prosedur K3 yang ditetapkan (J1), Kurang memadainya fasilitas K3 pendukung di lapangan (J2), Saat bekerja, pekerja tidak menggunakan alat keselamatan (J3).

2. Analisis akar penyebab, tahapan ini analisis akar penyebab (FTA), yang didasarkan pada sebelas variabel risiko nilai tinggi, menghasilkan dua puluh tujuh kombinasi *basic event* dan tiga puluh tujuh *basic event*. atau akar penyebab dari perhitungan *minimum cut set* yaitu, (A1) (A), (B), (C2, D), (C2, D1), (C2, D2), (D2) (C), (C1), (C2), (A2), (B1), (B2), (B3), (D3) (A1, A31, A32, B1), (A2, A31, A32, B2), (G1) (A5, A6, A7, A8, A3), (A5, A6, A7, A8, A4), (A2), (B1), (B2), (H1) (A2, A3, B1, A4, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, C1, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, C2, C3, A5), (A2, A3, B1, B2, A4, C3, A5), (A2, A3, B2, A4, C3, A5), (A2, A3, B2, C3, A5, C1), (A2, A3, B2, C3, A5, C2), (H5) (C3, A4, A3, B1, B2, C1), (C3, A4, A3, B1, B2, C2.1, C2.2), (A2, A3, B1, B2, C1), (A2, A3, B1, B2, C2.1, C2.2), (I1) (A1), (A2), (A3), (B1), (B2), (B3), (I2) (A1, A2, C4, C5, B3), (B1), (B4), (C1), (C2), (C3), (J1) (C1), (C2), (A1, C3, A2.1, A3, B1, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B1, C2), (A1, C3, A2.1, A3, B2, C1), (A1, C3, A2.1, A3, B2, C2), (A1, C3, A2.1, A3, C4, B3.1, C1), (A1, C3, A2.1, A3, C4, B3.1, C2), (J2) (C2, C3.1, A1), (C2, C3.1, A2), (B1), (B2), (C1), (C4), (C3), (J3) (A1), (A2), (B1), (B2), (B3), (C1), (C2).

## DAFTAR PUSTAKA

- Lia Amelia Megawati, L. (2021). *ANALISIS FAKTOR KETERLAMBATAN PROYEK KONSTRUKSI BANGUNAN GEDUNG*.
- Masombe, N., Rumayar, A. L. E., & Rondonuwu, S. G. (2021). *RISIKO UNTUK MEMINIMALISIR PENGARUH KETERLAMBATAN PROYEK KONSTRUKSI (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Fakultas Ekonomi dan Bisnis S2/S3 Pasca Sarjana Universitas Sam Ratulangi)*.
- Sopiyah, Y., & Isyah Salimah, A. (2020). *ANALISIS DAN RESPON RISIKO PADA PROYEK KONSTRUKSI GEDUNG*.
- Tri Sanjoyo, J., Amanda Yudhistira, G., & Ayu Febrianti, M. (2021). Analisis Output Operator Menggunakan Metode Fault Tree Analysis untuk Mengurangi Kecacatan Pengelasan. In *Seminar dan Konferensi Nasional IDEC*.
- Visti Rurianti, D., Kuantan Singingi, I., Gatot Subroto, J. K., Kuantan, T., Kuantan Tengah, K., & Singingi, K. (2023). *ANALISIS KETERLAMBATAN PROYEK PEMBANGUNAN PRASARANA PENGENDALIAN BANJIR SUNGAI INDRAGIRI DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) (STUDI KASUS: DESA SELUNAK KABUPATEN INDRAGIRI HULU)*