



# ANALISIS FAKTOR PENYEBAB KETERLAMBATAN PEKERJAAN BORE PILE DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN GEDUNG BSI TOWER JAKARTA PUSAT

**M. Razak A, Irma Sepriyanna\*, Indah Handayasari**

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan,  
Institut Teknologi PLN Jakarta

\*Corresponding Author, Email : [irma.sepriyanna@itpln.ac.id](mailto:irma.sepriyanna@itpln.ac.id)

## ABSTRAK

*Proyek pembangunan gedung BSI Tower Jakarta Pusat, terutama pada pekerjaan pondasi bore pile tidak sesuai dengan jadwal yang direncanakan pada penjadwalan awal. Dimana pada jadwal awal rencana pekerjaan bore pile dimulai pada tanggal 26 Oktober 2023 dan berakhir di 14 Januari 2024 dengan jumlah titik pekerjaan sebanyak 342 titik namun pada aktualnya pekerjaan bore pile selesai pada tanggal 26 Maret 2024 oleh karena itu penelitian ini menitik beratkan pada permasalahan-permasalahan yang menjadi faktor-faktor penyebab keterlambatan pekerjaannya. Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik observasi, wawancara dan kuesioner. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dengan menggunakan teknik purposive sampling dengan jumlah sebanyak 15 orang. Data yang terkumpul sebelumnya diolah terlebih dahulu kemudian di analisis dengan menggunakan metode FTA (Fault Tree Analysis) yang dapat digunakan untuk menganalisa suatu keterlambatan sebuah pekerjaan serta dapat mengetahui basic event dan top even dari penyebab keterlambatan pekerjaan. Dari data yang telah di dapat kemudian analisa MOCUS yang merupakan salah satu metode dari aljabar boolean baik dari segi pendekatan top down dan bottom up pada metode FTA bahwa faktor kontraktrolah yang memiliki kombinasi basic event paling banyak yaitu sebanyak 16 kombinasi sedangkan faktor lingkungan hanya menghasilkan 9 kombinasi dengan tingkat nilai probabilitas yang berbeda-beda.*

**Kata Kunci :** *Fault Tree Analysis (FTA), Keterlambatan, Bore Pile, Aljabar Boolean*

## ABSTRACT

*The BSI Tower building construction project in Central Jakarta, especially the bore pile foundation work, is not in accordance with the schedule planned in the initial scheduling. Where in the initial schedule the bore pile work was planned to start on 26 October 2023, and end on 14 January 2024, with a total of 342 work points, but the bore pile work was completed on March 26, 2024, therefore this research focuses on the problems which are the factors causing delays in work. Data collection in this research used observation, interview and questionnaire techniques. The sample used in this research was taken using a purposive sampling technique with a total of 15 people. The previously collected data is processed first and then analyzed using the FTA (Fault Tree Analysis) method which can be used to analyze delays in work and can determine the main events and top events of the causes of work delays. From the data that has been obtained, MOCUS analysis, which is a method of Boolean algebra, both in terms of top down and bottom-up approaches in the FTA method, shows that the contract factor has the most basic event combinations, namely 16 combinations, while the environmental factors only produce 9 combinations. with different levels of probability values.*

**Keywords :** *Fault Tree Analysis (FTA), Delay, Bore Pile, Aljabar Boolean*

## PENDAHULUAN

Dalam pembangunan suatu proyek bangunan ada beberapa tahapan pekerjaan terutama pada pekerjaan fondasi. Fondasi yang cocok adalah salah satu elemen kunci dalam keberhasilan kekuatan suatu bangunan terutama gedung tinggi. Pada proyek konstruksi

gedung tinggi atau struktur pekerjaan lainnya, *bore pile* sering digunakan sebagai bagian dari fondasi dalam, untuk menopang beban bangunan secara efektif. Proses pembuatan *bore pile* melibatkan serangkaian tahapan yang kompleks, antara pengeboran lubang, pengisian dengan beton atau material lain, dan pengerasan. Setiap tahapan ini memerlukan perencanaan yang cermat, koordinasi yang baik antara berbagai pihak, dan penggunaan peralatan khusus yang sesuai, keterlambatan dalam pekerjaan *bore pile* seringkali terkait dengan kondisi cuaca yang tidak terduga atau kondisi tanah yang tidak sesuai dengan perkiraan awal. Hujan, banjir, atau tanah yang sulit digali dapat menyebabkan penundaan dalam proses pemboran dan penyelesaian *bore pile* (Sungkana et al., 2023).

Keterlambatan pekerjaan *bore pile* bisa dan sangat berpengaruh ke pekerjaan berikutnya dan dari hal ini dapat berdampak besar ke pekerjaan yang selanjutnya, dimana harusnya di kerjakan setelah pekerjaan *bore pile* berakhir, kemungkinan besar akan terlambat. Hal ini merupakan masalah yang sangat berdampak besar terutama pada proyek besar seperti proyek pembangunan gedung BSI tower, maka dari itu penelitian ini berfokus pada permasalahan-permasalahan yang menjadi faktor-faktor penyebab keterlambatan pekerjaannya. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan. Ada beberapa cara dalam menganalisa keterlambatan suatu proyek. Berbagai metode dapat digunakan untuk mengevaluasi keterlambatan proyek, termasuk *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA adalah metode sistematis untuk mendeteksi potensi kegagalan dalam suatu sistem. Pendekatan ini bersifat fungsional dan menggunakan konsep "top-down", dimana analisis dimulai dari level sistem tertinggi (top event) kemudian menelusuri penyebabnya ke level komponen yang lebih rendah (Mohdar et al, 2024). FTA merupakan metode analisis pohon kesalahan yang sederhana dan dapat dijelaskan sebagai metode analitis yang sistematis. Metode ini memiliki keunggulan dapat melakukan pengembangan desain, identifikasi arah kesalahan, mudah diubah ke pengukuran *probabilitas*. Akar penyebab keterlambatan proyek antara lain terlambatnya serah terima lahan, perubahan design, pekerjaan yang tidak sesuai dengan *shop drawing*, *eksternal*, *internal*, teknis, dan legal. Penggunaan variabel tersebut sangat mendukung dalam pengembangan metode FTA (Mustika et al., 2014)

Penelitian terdahulu juga banyak mengkaji metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam konteks keterlambatan proyek konstruksi. Ridhati et al. (2012) meneliti keterlambatan proyek Sidoarjo Town Square menggunakan pendekatan ini dan menunjukkan efektivitasnya dalam mengidentifikasi akar penyebab. Hal serupa juga ditunjukkan oleh Santoso dan Trijeti (2020) dalam kasus proyek gedung perkantoran bertingkat. Wisudanto (2012) mengkaji keterlambatan proyek di wilayah Kediri dan menyimpulkan bahwa faktor manajemen kontraktor serta cuaca ekstrem merupakan penyebab dominan, yang sejalan dengan temuan dalam penelitian ini

Menurut Analysa et al. (2019), keterlambatan pada proyek konstruksi sering kali tidak hanya berasal dari faktor teknis, tetapi juga dari faktor administratif dan komunikasi antarpihak yang kurang efektif. Hal ini diperkuat oleh temuan Pradipta et al. (t.t.) yang menyatakan bahwa pendekatan FTA juga dapat digunakan untuk menganalisis keselamatan kerja proyek konstruksi jalan. Menurut Rizki (2023), *Fault Tree Analysis* (FTA) memiliki empat tujuan utama: (1) mengidentifikasi kombinasi kegagalan peralatan dan human error yang dapat memicu kejadian tak diinginkan, (2) memprediksi skenario risiko untuk

mengembangkan tindakan korektif guna meningkatkan keselamatan produk, (3) merekonstruksi urutan kejadian kritis yang paling probable sebagai akar penyebab kegagalan sistem, serta (4) menganalisis sumber risiko potensial secara proaktif sebelum manifestasi kegagalan terjadi. Teknik analisis top-down ini memungkinkan insinyur tidak hanya mendeteksi *single point of failure*, tetapi juga memahami interaksi kompleks antar komponen sistem melalui pendekatan kualitatif dan kuantitatif.

Ferdiana dan Priadythama (2016) bahkan menerapkan FTA pada bidang manufaktur untuk mengidentifikasi kecacatan produk, yang menunjukkan bahwa pendekatan ini sangat fleksibel untuk berbagai jenis proyek atau sistem. *Fault Tree Analysis (FTA)* digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan kegagalan dengan menilai *probabilitas* kegagalan melalui pendekatan analisis *top-down*. Metode ini dimulai dengan kejadian utama atau peristiwa yang tidak diinginkan, yang disebut sebagai *top level event*, dan kemudian menganalisis semua faktor yang dapat menyebabkan terjadinya peristiwa tersebut. Proses analisis ini melibatkan penentuan bagaimana *top level event* (kejadian utama yang *potensial*) dapat terjadi. Defenisi FTA (*Fault Tree Analysis*)

*Fault Tree Analysis* adalah metode untuk mengidentifikasi risiko yang berkontribusi pada kegagalan dengan pendekatan *top-down*. Metode ini dimulai dengan menganggap kejadian puncak (*Top Event*) sebagai kegagalan atau kerugian, kemudian mengurai penyebab kejadian puncak hingga mencapai sumber kegagalan dasar. FTA adalah teknik yang dirancang untuk menemukan kegagalan sistem, berorientasi pada fungsi dengan pendekatan dari atas ke bawah, dimulai dari level sistem tertinggi dan kemudian menyusut ke bawah. Dalam *konteks investigasi* kecelakaan kerja, FTA digunakan untuk menghubungkan serangkaian kejadian yang menyebabkan satu kejadian lainnya. Teknik ini menerapkan pendekatan *deduktif* untuk mengidentifikasi penyebab suatu kejadian. FTA merupakan alat analisis yang secara *visual* menggambarkan berbagai kemungkinan kesalahan yang dapat mengakibatkan kegagalan sistem, dan membantu dalam menjelaskan serta mengevaluasi insiden yang terjadi dalam sistem melalui representasi grafis. (Muhammad, 2019). FTA menggunakan 2 simbol utama yang disebut *events* dan *gates*.

Parastiwi (2017) juga menekankan pentingnya pemetaan faktor penyebab secara deduktif melalui metode FTA, terutama dalam proyek apartemen bertingkat yang memiliki risiko tinggi terhadap perubahan desain.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif, dengan teknik pengumpulan data menggunakan kuisioner. Adapun tahapan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi Faktor Penyebab Keterlambatan.

Tujuan utamanya adalah mencari peristiwa yang menandakan kegagalan sistem yang harus di identifikasikan terlebih dahulu sebelum membuat model *grafis* FTA.

2. Perhitungan Probabilitas hasil kuisioner.

Perhitungan *probabilitas* adalah proses menentukan kemungkinan suatu peristiwa terjadi berdasarkan ruang sampel dan peristiwa yang didefinisikan dalam percobaan acak. *Probabilitas* memberikan nilai numerik yang menggambarkan seberapa besar kemungkinan suatu peristiwa akan terjadi, dengan nilai berkisar antara 0 hingga 1.

### 3. Menentukan Skema FTA.

Sebelum membuat skema, terlebih dahulu menentukan *Top Event*, *Basic Event* dan *Intermediate Event*. Berikut adalah langkah-langkah lengkap untuk membuat gambar konstruksi FTA :

- a. Memilih sistem atau peristiwa yang di analisis yang mana identifikasi sistem tersebut jelas dan semua elemen kunci telah dipertimbangkan
- b. Menentukan tujuan analisis.
- c. Mengidentifikasi kegagalan utama atau peristiwa akhir yang menjadi fokus analisis utama.
- d. Mengidentifikasi penyebab potensial dari kegagalan utama yang telah ditentukan yang mengarah pada kegagalan utama dengan menggunakan cara brainstorming atau data historis untuk menentukan penyebab-penyebab ini.
- e. Konstruksi Pohon kesalahan, dimulai dengan kegagalan utama sebagai akar pohon dan hubungkan penyebab potensial sebagai cabang-cabang dari akar tersebut. Lalu menggunakan simbol standar untuk mewakili elemen-elemen dalam pohon kesalahan, seperti lingkaran untuk peristiwa dan persegi panjang untuk penyebab.
- f. Menentukan keterkaitan logis antara kegagalan utama dan penyebab yang mungkin. Keterkaitan ini bisa berupa *AND*, di mana kegagalan utama terjadi jika seluruh penyebab terjadi, atau *OR*, di mana kegagalan utama terjadi jika salah satu penyebab terjadi.
- g. Lanjutkan membangun pohon kesalahan dengan menambahkan tingkat-tingkat penyebab baru, jika diperlukan, untuk setiap penyebab potensial. Teruskan proses ini hingga anda mencapai tingkat detail yang memadai dan relevan untuk analisis anda.
- h. Mengevaluasi pohon kesalahan yang dibuat untuk memastikan bahwa semua kemungkinan penyebab kegagalan telah diperhitungkan dan bahwa hubungan logisnya benar. *Verifikasi* bahwa pohon kesalahan mencerminkan pemahaman yang akurat tentang sistem atau peristiwa yang dianalisis.
- i. Analisis lanjutan seperti menghitung *probabilitas* penyebab keterlambatan dan *basic event*.

### 4. Menentukan Kombinasi *Cut Set*

Setelah diagram FTA (*Fault Tree Analysis*) selesai digambar, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis *kuantitatif* terhadap *fault tree* atau menentukan *cut set* dengan menerapkan prinsip gerbang logika, di mana *probabilitas* dihitung menggunakan operasi penjumlahan (pintu *OR*) dan perkalian (pintu *AND*). *Cut set* adalah kumpulan peristiwa yang, jika terjadi bersamaan, akan memicu terjadinya peristiwa puncak. *Minimal cut set* adalah kumpulan peristiwa paling mendasar yang menyebabkan terjadinya peristiwa yang tidak diinginkan. MOCUS adalah metode untuk menentukan *cut set* serta *minimal cut set* tersebut. Penentuan minimal *Cut set* dilakukan dengan cara pengkombinasian *basic event* dengan menggunakan persamaan *Aljabar Boolean*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuisisioner diberikan kepada 15 orang responden yang merupakan personel yang terlibat dalam pekerjaan bore pile yaitu Quantity surveyor, pelaksana, pengawas, operator alat berat dan pekerja pada pembesian dan pengecoran bore pile. Data hasil kuisisioner dapat dilihat pada table berikut ini :

Tabel 1. Hasil Kuesioner Keterlambatan Pekerjaan *Bore Pile*

No	Faktor Penyebab keterlambatan pekerjaan <i>bore pile</i>	Frekuensi				
		1	2	3	4	5
<b>A. Faktor Lingkungan</b>						
<b>1. Alam</b>						
X1	Tanah Lunak atau lembek	0	0	1	11	3
X2	Muka air tanah area proyek tinggi	0	0	1	10	4
X3	Curah hujan yang tinggi	0	0	6	6	3
X4	Area proyek tergenang	0	0	12	3	0
X5	Area proyek berlumpur	0	5	10	0	0
X6	Dilakukannya <i>dewatering</i> pasif	0	0	6	7	1
<b>2. Non-Alam</b>						
X7	Pemberhentian pekerjaan sementara	0	0	5	1	9
X8	Pemberhentian pekerjaan akibat kebisingan	0	6	7	1	1
X9	Pemberhentian pekerjaan akibat gangguan aktivitas alat berat	0	0	0	7	8
X10	Terjadinya penurunan tanah pada daerah sekitar	0	0	7	8	0
X11	Getaran aktivitas alat berat	0	0	10	5	0
X12	Pembobokan bekas pondasi eksisting	0	0	0	6	9
X13	<i>Bore pile</i> bergeser	0	0	5	4	6
X14	<i>Bore pile</i> berpindah	0	0	10	5	0
X15	<i>Corring</i> pondasi eksisting	0	0	7	8	0
<b>B. Faktor Kontraktor</b>						
<b>A. Peralatan</b>						
X16	Rendahnya produktifitas alat	0	7	8	0	0
X17	Peralatan rusak saat dilapangan	0	10	5	0	0
X18	Peralatan tidak berfungsi dengan baik	0	0	9	6	0
X19	Alat tidak bekerja dengan optimal	0	11	4	0	0
X20	Penggunaan alat yang tidak efisien	0	11	4	0	0
X21	Operator kurang berpengalaman	0	8	7	0	0
X22	Ruang gerak alat yang terbatas	0	0	11	4	0
X23	Lahan kerja area proyek kecil	0	1	10	4	0
X24	Jumlah alat yang melebihi rencana	0	0	9	6	0
X25	<i>Maintenance alat</i> yang tidak terjadwal	0	10	5	0	0
<b>B. Material</b>						
X26	Ketersediaan material yang kurang	0	7	6	2	0
X27	Kurangnya area pabrikasi	0	10	1	4	0
X28	Keterlambatan pabrikasi	0	0	6	9	0
X29	Keterlambatan pengecoran	0	0	5	6	4
X30	Tenaga kerja kurang teliti	0	0	8	7	0
X31	Pengerjaan tulangan salah	0	6	8	1	0
X32	Akses lalu lintas ke proyek sulit dilalui	0	4	8	3	0
X33	<i>Schedule</i> pengiriman yang padat	0	0	7	8	0
X34	Ketersediaan material yang kurang	0	4	8	3	0
<b>C. Tenaga Kerja</b>						
X35	Produktifitas tenaga kerja rendah	0	4	4	5	2
X36	Ketersediaan tenaga kerja	0	3	3	4	5
X37	Tenaga kerja kurang memahami desain gambar	0	0	7	5	3

X38	Kecapaian bekerja dibulan puasa	0	2	4	8	1
X39	Tenaga kerja kurang berpengalaman	0	1	5	5	4
X40	Terbatasnya jumlah tenaga kerja	0	4	8	3	0
X41	Kondisi tubuh pekerja yang kurang sehat	0	3	5	7	0
X42	Keterlambatan pembayaran antara kontraktor ke sub-kontraktor	0	2	4	8	1
X43	Adanya mogok kerja pekerja	0	4	8	3	0
X44	Pekerja kurang disiplin	0	2	6	7	0

Sumber : Data Penelitian

### Perhitungan Probabilitas

Pada probabilitas sendiri menggambarkan kemungkinan setiap faktor penyebab keterlambatan pekerjaan *bore pile* diberi nilai tertentu oleh para *responden*. Probabilitas dihitung dengan membagi frekuensi penilaian dengan total jumlah *responden* yang mana probabilitas ini memberikan gambaran tentang seberapa besar kemungkinan suatu faktor dinilai pada skala tertentu oleh responden.

$$\text{Probabilitas (P)} = \frac{\text{Frekuensi kejadian (f)}}{\text{Jumlah total responden (N)}}$$

### Penyusunan Skema FTA

Dalam proses pembuatan diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) perlu ditentukan terlebih dahulu *Top Event* untuk menandakan puncak dari permasalahan, dikarenakan puncak permasalahan yang dibahas mengenai keterlambatan pekerjaan *bore pile* pada proyek gedung BSI tower . Selanjutnya menentukan *intermediate event*, dimana pada penelitian ini dibagi menjadi 2 faktor utama yaitu, faktor lingkungan dan faktor kontraktor.

Dari masing – masing *intermediate event*, kemudian ditentukan *basic event* yang merupakan penjabaran dari *intermediate event* yang berpengaruh menyebabkan keterlambatan, seperti pada tabel berikut ini

Tabel 2. *Basic Event* dari Faktor lingkungan dan Faktor Kontraktor

<i>Intermediate event</i>		<i>Basic Event</i>			
<b>Faktor Lingkungan</b>					
B1	Faktor Alam	X1b	Tanah lunak		
		X2b	Muka air tanah yang tinggi		
		X4b	Area proyek berlumpur		
		X6b	Area proyek tergenang		
		B2	Faktor Non alam	X3b	Suara akibat aktivitas alat berat
				X5b	Getaran aktivitas alat berat
X7b	Titik <i>bore pile</i> di geser				
		X8b	Titik <i>bore pile</i> berpindah		
		X9b	<i>Corring</i> pondasi <i>eksisting</i>		
<b>Faktor Kontraktor</b>					
C1	Faktor Peralatan	X1c	Peralatan rusak dilapangan		
		X2c	Peralatan tidak berfungsi dengan baik		
		X3c	Alat tidak bekerja dengan optimal		
		X11c	Operator kurang berpengalaman		
		X15c	Lahan kerja area proyek yang kecil		
		X16c	Jumlah alat yang melebihi rencana		
C2	Faktor Material	X4c	Kurangnya area pabrikasi		
		X12c	Schedule pengiriman yang padat		

C3 Faktor Tenaga kerja	X13c	Akses lalu lintas yang sulit dilalui
	X14c	Tenaga kerja yang kurang teliti
	X5c	Tenaga kerja kurang memahami desain gamabar
	X6c	Kecapaian bekerja dibulan puasa
	X7c	Tenaga kerja yang kurang berpengalaman
	X8c	Kondisi fisik/badan tenaga kerja yang kurang sehat
	X9c	Keterlambatan pembayaran antara kontraktor dan sub-kontraktor
	X10c	Terbatasnya jumlah tenaga kerja

Sumber : Pengolahan Data

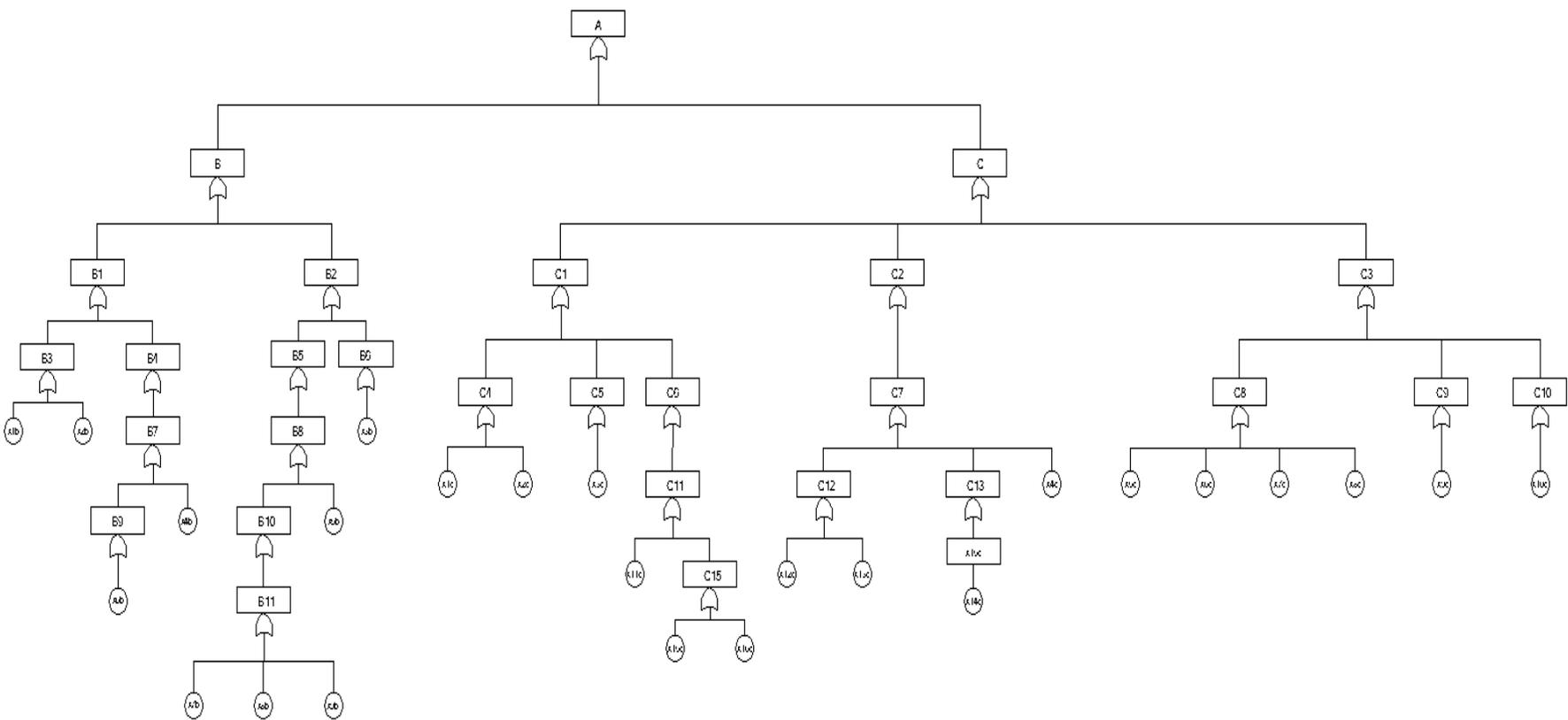
Dari tabel tersebut dijelaskan bahwa faktor lingkungan yang terdiri dari faktor alam dan non alam memiliki 9 *basic event*, dimana faktor alam memiliki 4 *basic event* dan non alam memiliki 5 *basic event*. Sedangkan faktor kontraktor yang terdiri dari faktor peralatan, faktor material dan faktor tenaga kerja memiliki 17 *basic event*, dimana faktor peralatan memiliki 6 *basic event*, faktor material memiliki 5 *basic event* dan faktor tenaga kerja memiliki 6 *basic event*. Probabilitas dari masing – masing *basic event* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Probabilitas Basic Event dari Faktor Lingkungan

<i>Basic Event</i>	<i>Probabilitas</i>
X1b	0.275
X2b	0.280
X4b	0.253
X6b	0.213
X3b	0.297
X5b	0.222
X7b	0.271
X8b	0.169
X9b	0.235

Tabel 4. Probabilitas Basic Event dari Faktor Kontraktor

<i>Basic Event</i>	<i>Probabilitas</i>
X1c	0.155
X2c	0.226
X3c	0.151
X11c	0.164
X15c	0.213
X16c	0.226
X4c	0.173
X12c	0.235
X13c	0.195
X14c	0.231
X5c	0.248
X6c	0.235
X7c	0.253
X8c	0.217
X9c	0.235
X10c	0.195



Gambar 1. Gambar Skema Diagram FTA Keseluruhan

### Penentuan Minimal *cut set* dari *Fault Tree Analysis*

Setelah menggambar diagram *Fault Tree Analysis* (FTA), langkah berikutnya adalah menentukan *cut set*. *Cut set* ini adalah kombinasi peristiwa yang, jika terjadi bersamaan, akan menyebabkan peristiwa puncak dalam pohon kesalahan. *Minimal cut set* adalah kombinasi peristiwa terkecil yang dapat mengakibatkan peristiwa yang tidak diinginkan. MOCUS (*Method for Obtaining Cut Set*) adalah metode yang digunakan untuk menentukan *cut set* dan *minimal cut set*. Kombinasi peristiwa dasar diperoleh dari analisis diagram FTA dengan menggunakan gerbang logika AND atau OR.

Berikut adalah analisis *cut set* untuk tiap faktor utama penyebab keterlambatan pekerjaan *bore pile*.

1. Analisis minimal *cut set* untuk faktor lingkungan, didapatkan hasil perhitungan minimal *cut set* menggunakan kombinasi *or gate*.

Persamaan persamaan untuk setiap gerbang (*Gate*)

$$B = B1 + B2$$

$$B1 = B3 + B4$$

$$B2 = B5 + B6$$

$$B3 = x1b + x2b$$

$$B4 = B7$$

$$B5 = B8$$

$$B6 = x3b$$

$$B7 = B9 + x4b$$

$$B8 = B10 + x5b$$

$$B9 = x6b$$

$$B10 = B11$$

$$B11 = x7b + x8b + x9b$$

Menggunakan pendekatan *Top down*

$$B = B1 + B2$$

$$= B3 + B4 + B6 + B6$$

$$= x1b + x2b + x3b + B7 + B8$$

$$= x1b + x2b + x3b + x4b + x5b + B9 + B10$$

$$= x1b + x2b + x3b + x4b + x5b + x6b + B11$$

$$= x1b + x2b + x3b + x4b + x5b + x6b + x7b + x8b + x9b$$

Menggunakan pendekatan *Bottom Up*

$$B11 = x7b + x8b + x9b$$

$$B10 = x7b + x8b + x9b$$

$$B9 = x6b$$

$$B8 = x5b + x7b + x8b + x9b$$

$$B7 = x4b + x6b$$

$$B6 = x3b$$

$$B5 = x5b + x7b + x8b + x9b$$

$$B4 = x4b + x6b$$

$$B3 = x1b + x2b$$

$$\begin{aligned}
 B2 &= x3b + x5b + x7b + x8b + x9b \\
 B1 &= x1b + x2b + x4b + x6b \\
 B &= B1 + B2 \\
 B &= x1b + x2b + x4b + x6b + x3b + x5b + x7b + x8b + x9b
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan minimum cut set diatas, faktor lingkungan menghasilkan 20 *basic event* sedangkan dengan analisa MOCUS dengan metode pendekatan *Bottom Up* dan *Top Down* didapat kombinasi *basic event* sebanyak 9 kombinasi dimana tiap kombinasi bisa menghambat langsung pada waktu pekerjaan *bore pile*.

Tabel 5. Minimal Cut Set Pada Faktor Lingkungan Pekerjaan *Bore Pile*

Kode <i>basic event</i>	<i>Basic event</i>	Probabilitas
X1b	Tanah lunak atau lembek	0.275
X2b	Muka air tanah yang tinggi	0.280
X4b	Area proyek berlumpur	0.253
X6b	Area proyek tergenang	0.213
X3b	Suara akibat aktivitas alat berat	0.297
X5b	Getaran aktivitas alat berat	0.222
X7b	Titik <i>bore pile</i> di geser	0.271
X8b	Titik <i>bore pile</i> berpindah	0.169
X9b	<i>Corring</i> pondasi eksisting	0.235

Sumber : Pengolahan Data

Berdasarkan hasil yang didapatkan selanjutnya dilakukan perhitungan kombinasi *minimal cut set* dari nilai probabilitas yang di dapatkan dari hasil kuesioner akibat faktor lingkungan. Hasil *probabilitas* tersebut bisa di jelaskan bahwa dari ke 9 kombinasi *basic event* faktor penyebab keterlambatan pekerjaan *bore pile* dengan nilai *probabilitas* paling tinggi adalah X3b yaitu suara akibat aktivitas alat berat sebesar 0.297 sedangkan dengan nilai *probabilitas* paling rendah adalah X8b yaitu titik *bore pile* yang berpindah sebesar 0.169.

2. Analysis minimal *cut set* untuk faktor kontraktor, didapatkan hasil perhitungan minimal *cut set* menggunakan kombinasi *or gate*.

Persamaan persamaan untuk setiap gerbang (Gate)

$$\begin{aligned}
 C &= C1 + C2 + 3 \\
 C1 &= C4 + C5 + C6 \\
 C2 &= C7 \\
 C3 &= C8 + C9 + C10 \\
 C4 &= x1c + x2c \\
 C5 &= x3c \\
 C6 &= C11 \\
 C7 &= C12 + C13 + x4c \\
 C8 &= x5c + x6c + x7c + x8c \\
 C9 &= x9c \\
 C10 &= x10c \\
 C11 &= x11c + C15
 \end{aligned}$$

$$C12 = x12c + x13c$$

$$C13 = C15$$

$$C14 = x15c + x16c$$

$$C15 = x14c$$

Menggunakan pendekatan *Top down*

$$C = C1 + C2 + C3$$

$$= C4 + C5 + C6 + C7 + C8 + C9 + C10$$

$$= x1c + x2c + x3c + x4c + x5c + x6c + x7c + x8c + x9c + x10c + C11 + C12 + C13$$

$$= x1c + x2c + x3c + x4c + x5c + x6c + x7c + x8c + x9c + x10c + x11c + x12c + x13c + x14c + C14 + C15$$

$$= x1c + x2c + x3c + x4c + x5c + x6c + x7c + x8c + x9c + x10c + x11c + x12c + x13c + x14c + x15c + x16c$$

Menggunakan pendekatan *Bottom Up*

$$C15 = x14c$$

$$C14 = x15c + x16c$$

$$C13 = x14c$$

$$C12 = x12c + x13c$$

$$C11 = x11c$$

$$C10 = x10c$$

$$C9 = x9c$$

$$C8 = x5c + x6c + x7c + x8c$$

$$C7 = x4c + x12c + x13c + x14c$$

$$C6 = x11c + x15c + x16c$$

$$C5 = x3c$$

$$C4 = x1c + x2c$$

$$C3 = x5c + x6c + x7c + x8c + x9c + x10c$$

$$C2 = x4c + x12c + x13c + x14c$$

$$C1 = x1c + x2c + x3c + x11c + x15c + x16c$$

$$C = x1c + x2c + x3c + x4c + x5c + x6c + x7c + x8c + x9c + x10c + x11c + x12c + x13c + x14c + x15c + x16c$$

Dari perhitungan hasil FTA diatas dari faktor kontraktor menghasilkan 31 *basic event* sedangkan dengan analisa MOCUS dengan metode pendekatan *Bottom Up* dan *Top Down* didapat kombinasi *basic event* sebanyak 16 kombinasi dimana tiap kombinasi bisa menghambat langsung pada waktu pekerjaan *bore pile* dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 6. Minimal *Cut Set* pada faktor kontraktor pekerjaan *bore pile*

<i>Kode Basic Event</i>	<i>Basic Event</i>	<i>Probabilitas</i>
X1c	Peralatan rusak dilapangan	0.155
X2c	Peralatan tidak berfungsi dengan baik	0.226
X3c	Alat tidak bekerja dengan optimal	0.151
X11c	Operator kurang berpengalaman	0.164
X15c	Lahan kerja area proyek yang kecil	0.213
X16c	Jumlah alat yang melebihi rencana	0.226
X4c	Kurangnya area pabrikasi	0.173
X12c	<i>Schedule</i> pengiriman yang padat	0.235
X13c	Akses lalu lintas yang sulit dilalui	0.195
X14c	Tenaga kerja yang kurang teliti	0.231
X5c	Tenaga kerja kurang memahami desain gambar	0.248
X6c	Kecapaian bekerja dibulan puasa	0.235
X7c	Tenaga kerja yang kurang berpengalaman	0.253
X8c	Kondisi fisik/badan tenaga kerja yang kurang sehat	0.217
X9c	Keterlambatan pembayaran antara kontraktor dan sub-kontraktor	0.235
X10c	Terbatasnya jumlah tenaga kerja	0195

Sumber : Pengolahan data

Berdasarkan hasil yang didapatkan selanjutnya kita melakukan perhitungan kombinasi *minimal cut set* dari nilai *probabilitas* yang di dapatkan dari hasil kuesioner akibat faktor kontraktor. Hasil *probabilitas* tersebut bisa di jelaskan bahwa dari ke 16 kombinasi *basic event* faktor penyebab keterlambatan pekerjaan *bore pile* dengan nilai *probabilitas* paling tinggi adalah X7c yaitu Tenaga kerja kurang berpengalaman sebesar 0.253, sedangkan dengan nilai probabilitas paling rendah adalah X1c yaitu peralatan rusak dilapangan sebesar 0.155.

## KESIMPULAN

Dari hasil analysis FTA, *Basic event* dengan nilai *probabilitas* paling tinggi yang menyebabkan keterlambatan pekerjaan *bore pile* pada proyek pembangunan gedung BSI tower yaitu Faktor Lingkungan meliputi faktor alam seperti muka air tanah yang tinggi sebesar 0,280 dan faktor non alam yaitu suara akibat aktifitas alat berat sebesar 0,297, sedangkan Faktor kontraktor meliputi faktor peralatan seperti peralatan tidak berfungsi dengan baik sebesar 0,226. Faktor material yaitu schedule pengiriman yang padat sebesar 0,235 dan faktor tenaga kerja yaitu tenaga kerja yang kurang berpengalaman sebesar 0,253.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amalia Ridhati, Rohman Arief Mohammad, & Nurcahyo Bintang Cahyono. (2012). *Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Sidoarjo Town Square Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 1.
- Analysa, D., Suhudi, S., & Rahma, P. D. (2019). *Evaluasi Keterlambatan Proyek Pembangunan Graha Mojokerto Service City (GMSC) dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*. Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia, 4(2), 36. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1407>

- Arief Muhammad, F. N. (2019). *Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pembangunan Hotel Mason Pine Bandung Menggunakan Metode Fault Tree Analysi (FTA)*. Universitas Nadlatul Ulama Al Ghazali Cilacap.
- Ferdiana, T., & Priadythama, I. (2016). *Analisis Defect Menggunakan Metode Fault Tree Analisis (FTA) Berdasarkan Data Ground Finding Sheet (GFS) PT. GMF AEROASIA*.
- Ilham Gesang santoso, & Trijeti. (2020). *Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Bangunan Gedung Perkantoran 53 Lantai Menggunakan Metode Fault Tree Analisis (FTA)*. Jurnal Universitas Muhammadiyah Jakarta. <http://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnaslit>
- Mohdar, W., Serang, R., & Titaley, H. D. (2024). *Analisa Faktor Penyebab Keterlambatan Pekerjaan Bore Pile Pada Proyek Pembangunan Sekolah Citra Kasih Ambon Dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)*. Parameter: Jurnal Matematika, Statistika dan Terapannya, 3(1), 19-32.
- Mustika, F., Hasyim, H., & Unas, E. S. (2014). *Analisa Keterlambatan Proyek Menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang)*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya,.
- Parastiwi Ike Reffi. (2017). *Analisa Penyebab Keterlambatan Proyek Pada Pembangunan Apartemen Royal Cityloft Dengan Menggunakan Metode Fault Tree Analysis*. Rekayasa Teknik Sipil, Vol.1, 272–277.
- Pradipta, H., El Unas, S., & Hasyim, M. H. (2015). *Analisa Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Proyek Menggunakan Fault Tree Analysis (Fta)(Study Kasus Pada Proyek Jalan Hotmix Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Sumbawa)* (Doctoral dissertation, Brawijaya University).
- Rizki Z, T. (2023). *Analisis Faktor-Faktor Penyebab Kecelakaan Kerja pada Pekerjaan Pembangunan Jembatan Sekarteja Lombok Timur Menggunakan Metode Fault Tree Analysis* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).
- Sungkana, S. R. K., Ratnaningsih, A., & Soetjipto, J. W. (2023). *Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Pondasi Bore Pile Menggunakan Metode Fault Tree Analysis*. Bulletin of Civil Engineering, 3(1), 25–30. <https://doi.org/10.18196/bce.v3i1.17491>
- Wisudanto agus, W. (2012). *Faktor-faktor Penyebab Keterlambatan pada Proyek Konstruksi Gedung di Kediri*.



*Jurnal Deformasi is licensed under  
a Creative Commons Attribution-Sharealike 4.0 International License*