



TESIS - BM185407

**MANAJEMEN RISIKO OPERASIONAL POWER  
PLANT FIELD RANTAU PT PERTAMINA EP  
MENGUNAKAN FMEA**

**DUTO NUSWANTOKO  
09211950023009**

**Dosen Pembimbing:  
Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.**

**PROGRAM STUDI MAGISTER MANAJEMEN TEKNOLOGI  
SEKOLAH INTERDISIPLIN MANAJEMEN DAN TEKNOLOGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2021**



THESIS - BM185407

**OPERATIONAL RISK MANAGEMENT OF  
PT PERTAMINA EP RANTAU FIELD POWER PLANT  
USING FMEA**

**DUTO NUSWANTOKO  
09211950023009**

**Supervisor:  
Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.**

**MAGISTER MANAGEMENT OF TECHNOLOGY DEPARTMENT  
INTERDISCIPLINARY SCHOOL OF MANAGEMENT AND  
TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2021**

# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

**Magister Manajemen Teknologi (M.MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Duto Nuswantoko**

**NRP: 09211950023009**

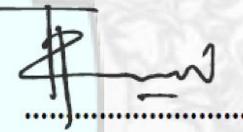
Tanggal Ujian: 12 Januari 2022

Periode Wisuda: Maret 2022

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP: 197404202002121003



.....

**Penguji:**

1. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D.  
NIP: 196902241995122001



.....

2. Dr. Fitri Ismiyanti, S.E., M.Si.  
NIP: 197609232008012016



.....

**DEKAN SEKOLAH INTERDISIPLIN MANAJEMEN DAN TEKNOLOGI,**



**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng, Ph.D, CSCP**  
NIP: 1969123119941210



# MANAJEMEN RISIKO OPERASIONAL POWER PLANT FIELD RANTAU PT. PERTAMINA EP MENGGUNAKAN METODE RISK FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (RFMEA)

Mahasiswa Nama : Duto Nuswantoko  
Mahasiswa ID : 09211950023009  
Pembimbing : Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.

## ABSTRAK

Target produksi Field Rantau PT. Pertamina EP adalah 3242 BOPD minyak dan gas 3.68 MMSCFD. Untuk mencapai target tersebut perusahaan melakukan usaha peningkatan *lifting* dan menjaga fasilitas produksi agar operasional tidak mengalami gangguan yang menyebabkan kehilangan produksi. Salah satu sistem yang menunjang operasional produksi minyak dan gas di Field Rantau adalah sistem listrik, yang dihasilkan dari *power plant*. Beberapa tahun terakhir ini telah terjadi beberapa gangguan pada *power plant* Rantau Field yang menyebabkan terjadinya *power blackout* yang menyebabkan terganggunya operasional perusahaan dan menimbulkan kerugian bagi perusahaan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis risiko kritikal, serta sumber penyebab risiko dari berbagai variabel kegagalan operasional *power plant*. Metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA) dan *Risk Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA) dipakai untuk mengidentifikasi risiko kritikal, kemudian *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk mencari sumber dan kombinasi penyebab risiko. Responden dari penelitian ini adalah manajer dan staf teknis yang terkait dengan sistem *Power Plant* Rantau Field. FGD dilaksanakan untuk mengidentifikasi *failure mode* dan risiko yang mungkin terjadi. Dari analisis tersebut juga akan diusulkan tindakan penanganan risiko, sehingga kehandalan *power plant* dapat terjaga demi keberlangsungan produksi minyak dan gas di Field Rantau.

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis menggunakan metode RFMEA, dari 27 risiko yang teridentifikasi, terdapat 5 risiko yang masuk ke dalam kategori risiko kritikal, yaitu *human error*, *failed to start*, *ground fault trip*, *cable short* (MV), dan *combustion chamber problem*. Dari masing-masing risiko, didapatkan juga *minimum cut sets* melalui metode FTA dan MOCUS. Dari *cut sets* yang didapatkan, dilakukan pembahasan mengenai mitigasi dari masing-masing *cut sets* untuk mencegah dan meminimalisasi peluang terjadinya masing-masing risiko kritikal yang teridentifikasi dalam penelitian ini.

Kata kunci : Manajemen Risiko Operasional, FMEA, RFMEA, FTA, MOCUS, Power Plant

# **OPERATIONAL RISK MANAGEMENT OF PT. PERTAMINA EP RANTAU FIELD POWER PLANT USING RISK FAILURE MODE EFFECT ANALYSIS (RFMEA)**

Student Name : Duto Nuswantoko

ID Number : 09211950023009

Advisor : Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

Rantau Field PT Pertamina EP is expected to produce 3242 BOPD of oil along with 3.68 MMSCFD of natural gas. In order to achieve those targets, the company continuously applies various production while maintaining production surface facilities to prevent potential operational problems from happening. One of the key system to support production activities is the electrical generation and distribution system. For the last few years, there have been some technical problems happening in power plant system causing power blackout that disrupted operational activities and generating loss for company as a result.

This research has a purpose to identify and analyze critical risks and the sources from various failure variables of Rantau Field Power Plant. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA) are used to identify critical risks, then Fault Tree Analysis (FTA) is used to search the sources and combination of factors that cause the critical risks in question. The respondents of this research are manager and technical staffs connected to Rantau Field Power Plant operation and maintenance activities. Focus Group Discussion (FGD) is held to identify failure mode and possible risks. Based on the analysis, risk response plans will be discussed and arranged to maintain power plant reliability for the continuity of oil and gas production in Rantau Field.

Based on the data analysis using RFMEA, from 27 risks identified, there are 5 risks categorized as critical risks, human error, failed to start, ground fault trip, cable short (MV), and combustion chamber problem. From each of those risks, minimum cut sets have been identified by using FTA. From the cut sets, risk response plans have been made for each minimum cut sets from all 5 critical risks in order to prevent top events (critical risks) identified in this research from happening.

Keywords : Operational Risk Management, FMEA, RFMEA, FTA, MOCUS, Power Plant

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Penulis mengucapkan puji dan syukur kepada Allah SWT, atas segala limpahan rahmat dan hidayahnya, penulis dapat menyelesaikan proposal tesis ini sesuai dengan harapan. Tesis ini disusun guna memenuhi persyaratan kelulusan akademis bagi Mahasiswa Strata-2 (S2) pada Program Studi Magister Manajemen Teknologi bidang keahlian Manajemen Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyelesaian Proposal Tesis ini, penulis telah mendapatkan banyak dukungan moral maupun material dari banyak pihak. Atas bantuan yang telah diberikan penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tri Joko Wahyu Adi, S.T., M.T., Ph.D.
2. Ir. Ervina Ahyudanari, M.E., Ph.D.
3. Dr. Fitri Ismiyanti, S.E., M.Si.
4. Ibu, Bapak, Eyang Ibu, Eyang Bapak, Mbak Tenty dan Mas Tunggul.
5. Ibu Wina, Mas Emir dan Adek Anes.
6. Pasha “The Best”, Mas Hasrol, Imam Syahputra dan Ery Ferdian.
7. Seluruh dosen dan Staf MMT ITS.
8. Teman-teman MMT Manajemen Proyek angkatan 2019 kelas C.

Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan pada umumnya dan bagi mahasiswa Jurusan Magister Manajemen Teknologi ITS pada khususnya.

Surabaya, Februari 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>ix</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah .....	7
1.3    Tujuan Penelitian .....	8
1.4    Ruang Lingkup Penelitian.....	8
1.5    Manfaat Penelitian .....	8
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA</b> .....	<b>11</b>
2.1    Definisi .....	11
2.1.1    Risiko .....	11
2.1.2    Risiko Operasional.....	13
2.2    Dasar Teori .....	14
2.2.1    Manajemen Risiko .....	15
2.2.2    Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) .....	18
2.2.3    Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA) .....	20
2.2.4    Fault Tree Analysis (FTA).....	24
2.2.5    Pembangkit Listrik (Power Plant).....	27
2.2.5.1    Pembangkit Listrik Internal-Combustion Engine .....	27
2.2.6    Power Plant Field Rantau .....	34
2.2.6.1    Komponen Utama Power Plant Field Rantau .....	34
2.2.6.2    Peran dan Operasional Power Plant Field Rantau.....	39
2.3    Penelitian Terdahulu .....	40

2.4	Posisi Penelitian .....	43
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>		<b>44</b>
3.1	Jenis Penelitian .....	45
3.2	Tahapan Penelitian .....	45
3.3	Tahap Persiapan .....	46
3.3.1	Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian .....	47
3.3.2	Studi Pustaka dan Pra Survey .....	47
3.3.2.1	Studi Pustaka .....	47
3.3.2.2	Pra Survey .....	48
3.4	Tahap Identifikasi Risiko Kritis .....	49
3.4.1	Identifikasi Risiko .....	49
3.4.2	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) .....	51
3.4.2.1	Risk Priority Number (RPN) .....	55
3.4.3	Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA) .....	56
3.4.3.1	Nilai Risiko ( <i>Risk Score</i> ) .....	56
3.4.3.2	Scatter Plot (RPN vs Risk Score) .....	58
3.5	Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko .....	60
3.6	Tahap Mitigasi Risiko .....	61
<b>BAB 4 ANALISA DATA .....</b>		<b>65</b>
4.1	Tahap Pendahuluan .....	65
4.2	Tahap Identifikasi Risiko Kritis .....	66
4.2.1	Identifikasi Risiko .....	66
4.2.2	Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) .....	68
4.2.2.1	Penentuan Rating .....	69
4.2.2.2	Penentuan Nilai Risk Priority Number (RPN) .....	71
4.2.3	Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA) .....	74
4.2.3.1	Perhitungan Nilai Risk Score .....	74

4.2.3.2	Analisis RFMEA dengan Scatter Plot.....	76
4.2.4	Penentuan Risiko Kritis .....	77
4.3	Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko.....	77
4.3.1	Human Error .....	78
4.3.2	Failed to Start .....	82
4.3.3	Ground Fault Trip.....	86
4.3.4	Cable Short (MV) .....	93
4.3.5	Combustion Chamber Problem .....	98
4.4	Tahap Mitigasi Risiko.....	103
4.4.1	Human Error .....	103
4.4.2	Failed to Start .....	105
4.4.3	Ground Fault Trip.....	107
4.4.4	Cable Short (MV) .....	110
4.4.5	Combustion Chamber Problem .....	112
4.4.6	Risk Score dan RPN Residual Hasil Implementasi Mitigasi Risiko.....	113
<b>BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>116</b>
5.1	Kesimpulan .....	117
5.2	Saran .....	119
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>121</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Wilayah Operasional Rantau Field .....	2
Gambar 1.2 Grafik Realisasi Produksi Rantau Field Tahun 2020 .....	3
Gambar 1.3 Gambaran Umum Sistem Distribusi Listrik dari Power Plant ke Beban Listrik Rantau Field .....	4
Gambar 2.1 Langkah-Langkah dalam Proses RFMEA.....	21
Gambar 2.2 Ilustrasi Fault Tree .....	26
Gambar 2.3 Internal-Combustion Engine Generator Set Berbahan Bakar Gas ....	29
Gambar 2.4 Struktur Jaringan Radial.....	30
Gambar 2.5 Struktur Jaringan Ring/Loop .....	31
Gambar 2.6 Struktur Jaringan Mesh .....	33
Gambar 2.7 Diagram Blok Sistem Listrik Rantau Field .....	34
Gambar 2.8 Diagram Jaringan Gas Rantau Field.....	38
Gambar 2.9 Single Line Diagram Rantau Field.....	39
Gambar 2.10 Infografis Power Plant Rantau Field .....	40
Gambar 2.11 Diagram Hubungan dan Posisi Penelitian terhadap Penelitian Terdahulu .....	43
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian .....	46
Gambar 3.2 Ilustrasi Scatter Plot .....	59
Gambar 4.1 Diagram Pareto Risiko Urutan RPN Power Plant Rantau Field .....	73
Gambar 4.2 Diagram Pareto Risiko Urutan Risk Score Power Plant Rantau Field .....	76
Gambar 4.3 Scatter Plot Risk Assessment Power Plant Rantau Field .....	77
Gambar 4.4 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Human Error .....	79
Gambar 4.5 Perhitungan Probabilitas Risiko Human Error.....	82
Gambar 4.6 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Failed to Start .....	83
Gambar 4.7 Perhitungan Probabilitas Risiko <i>Failed to Start</i> .....	86
Gambar 4.8 Titik Kabel Overhead pada Single Line Diagram Sistem Transmisi MV Rantau Field.....	87
Gambar 4.9 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Ground Fault Trip .....	88

Gambar 4.10 Kondisi Area Sekitar Kabel Overhead Rantau Field .....	89
Gambar 4.11 Kabel AAAC (Bare Cable) .....	90
Gambar 4.12 Perhitungan Probabilitas Risiko Ground Fault Trip .....	93
Gambar 4.13 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Cable Short (MV) .....	94
Gambar 4.14 Perhitungan Probabilitas Risiko Cable Short (MV) .....	97
Gambar 4.15 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Combustion Chamber Problem	98
Gambar 4.16 Ignition Coils (No. 2) .....	99
Gambar 4.17 Spark Plugs (No. 3) .....	99
Gambar 4.18 Perhitungan Probabilitas Risiko Combustion Chamber Problem..	102
Gambar 4.19 Ilustrasi Kabel AAACS .....	108
Gambar 4.20 Diagram Konfigurasi Pengukuran Partial Discharge Kabel .....	111
Gambar 4.21 Scatter Plot Inherent dan Residual Risiko Kritisal Power Plant Rantau Field .....	115

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Pembagian Wilayah Kerja PT. Pertamina Hulu Energi ( <i>Upstream Subholding</i> ).....	1
Tabel 1.2 Distribusi Generator Diesel di Fasilitas Produksi dan Fasilitas Umum Rantau Field.....	5
Tabel 1.3 Data LPO Akibat Permasalahan Power Plant Rantau Field Tahun 2018-2020 .....	6
Tabel 2.1 Formulir FMEA dan RFMEA yang Distandarkan.....	21
Tabel 2.2 Simbol Gate dalam FTA .....	25
Tabel 2.3 Simbol Kejadian dalam FTA .....	25
Tabel 2.4 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan Radial.....	31
Tabel 2.5 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan Ring/Loop.....	32
Tabel 2.6 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan Mesh .....	33
Tabel 2.7 Data Gas Engine Generator Power Plant Field Rantau.....	35
Tabel 2.8 Sintesa Variabel Risiko Power Plant Penelitian Terdahulu .....	42
Tabel 3.1 Variabel Risiko Kegagalan Power Plant Berdasarkan Penelitian Terdahulu.....	50
Tabel 3.2 Skala Likelihood .....	51
Tabel 3.3 Skala Impact.....	52
Tabel 3.4 Skala Detection .....	53
Tabel 3.5 Daftar Peserta FGD Pemberian Nilai.....	54
Tabel 3.6 Matriks Risiko.....	57
Tabel 3.7 Daftar Peserta FGD Penyusunan Risk Response Plan.....	62
Tabel 4.1 Data Variabel Kegagalan Power Plant Rantau Field .....	66
Tabel 4.2 Skala <i>Likelihood</i> Penelitian.....	69
Tabel 4.3 Skala Impact Penelitian.....	70
Tabel 4.4 Data RPN Risiko Kritis Power Plant Rantau Field .....	71
Tabel 4.5 Risiko Kritis Power Plant dari Nilai RPN .....	73
Tabel 4.6 Risk Score Risiko Power Plant Rantau Field.....	75
Tabel 4.7 Risiko Kritis Power Plant Rantau Field.....	77

Tabel 4.8 Matriks MOCUS Risiko Human Error.....	80
Tabel 4.9 Minimum Cut Sets Risiko Human Error.....	80
Tabel 4.10 Matriks MOCUS Risiko Failed to Start.....	84
Tabel 4.11 Minimum Cut Sets Risiko Failed to Start.....	84
Tabel 4.12 Matriks MOCUS Risiko Ground Fault Trip.....	90
Tabel 4.13 Minimum Cut Sets Risiko Ground Fault Trip.....	91
Tabel 4.14 Matriks MOCUS Risiko Cable Short (MV).....	95
Tabel 4.15 Minimum Cut Sets Risiko Cable Short (MV).....	96
Tabel 4.16 Matriks MOCUS Risiko Combustion Chamber Problem.....	100
Tabel 4.17 Minimum Cut Sets Risiko Combustion Chamber Problem.....	101
Tabel 4.18 Parameter Charging Baterai Genset.....	106
Tabel 4.19 RPN dan Risk Score Residual Implementasi Mitigas Risiko Kritikal Power Plant Rantau Field.....	114
Tabel 4.20 Perbandingan Risk Score dan RPN Inherent dan Residual Risiko Kritikal Power Plant Rantau Field.....	114

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

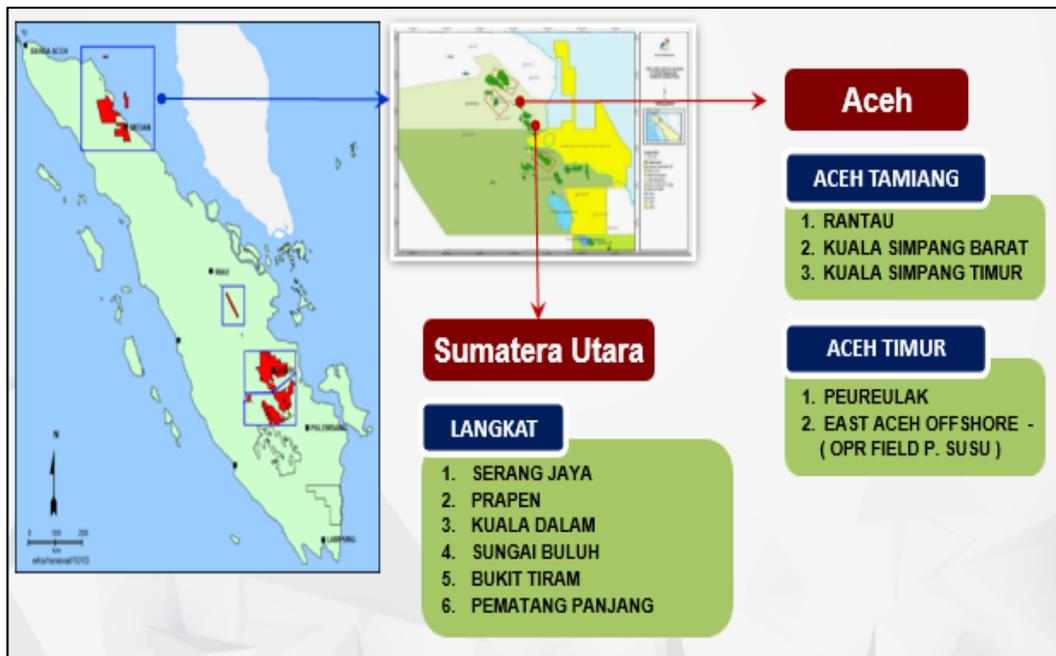
Saat ini kebutuhan minyak mentah nasional mencapai 1.8 juta *barrel oil per day* (BOPD), per 31 Agustus 2020 *lifting* minyak mencapai 706.9 ribu *barrel oil per day* (BOPD), dari target APBN sebesar 705 ribu BOPD. PT. Pertamina (persero) melalui *subholding* PT. Pertamina Hulu Energi memiliki target produksi minyak sebesar 430,000 BOPD dan gas 2,741 MMSCFD. Target tersebut tersebar ke 5 unit Region, 17 Zona, dan 72 Wilayah kerja seperti yang dijelaskan dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Pembagian Wilayah Kerja PT. Pertamina Hulu Energi (*Upstream Subholding*)

Region	Zone	WK	Production (Kboepd)
R-1 Sumatra	1	NSO, NSB, Rantau, Pangkalan Susu, West Glagah Kambuna, Siak, Kampar, Lirik, CPP, Jambi, Jambi Merang, Jabung	79
	2	Rokan North	75
	3	Rokan South	95
	4	Ogan Komerang, Raja Tempirai, Ramba, Corridor, Prabumulih, Limau, Pendopo, Adera	115
R-2 Jawa, Natuna	5	ONWJ, Abar, Anggursi	48
	6	OSES	46
	7	Tambun, Subang, Jatibarang, East Natuna, Block A (Natuna Sea)	57
R-3 Kalimantan	8	PHM, PHWG, East Sepinggan	152
	9	PHSS, Sangatta, Sanga-sanga, Maratua, Tanjung	36
	10	PHKT, Bunyu, Tarakan, Nunukan, East Ambalat, Simenggaris, Ambalat, Bukat	29
R-4 East Jawa, East Indonesia	11	ADK, Cepu, WMO, Randugunting, Sukowati, Poleng, Tuban East Jawa, Poleng	45
	12	JTB, Banyu Urip	151
	13	Donggi Matindok, Senoro Tolili, Makasar Strait	39
	14	Papua, Salawati, Salawati (Kepala Burung), Babar Selaru, Semai II	11
R-5 Overseas	15	Algeria: MLN	32
	16	Iraq: West Qurma (Prod, non-opt)	44
	17	Malaysia: SK309, SK311, SK314A, Block K, Block H	27

Salah satu wilayah kerja PT. Pertamina Hulu Energi adalah Rantau Field. Lapangan tersebut ditemukan oleh Belanda pada tahun 1928, berada di wilayah Aceh Tamiang, Aceh dan Langkat, Sumatera Utara. Sejak tahun 1953, PT.

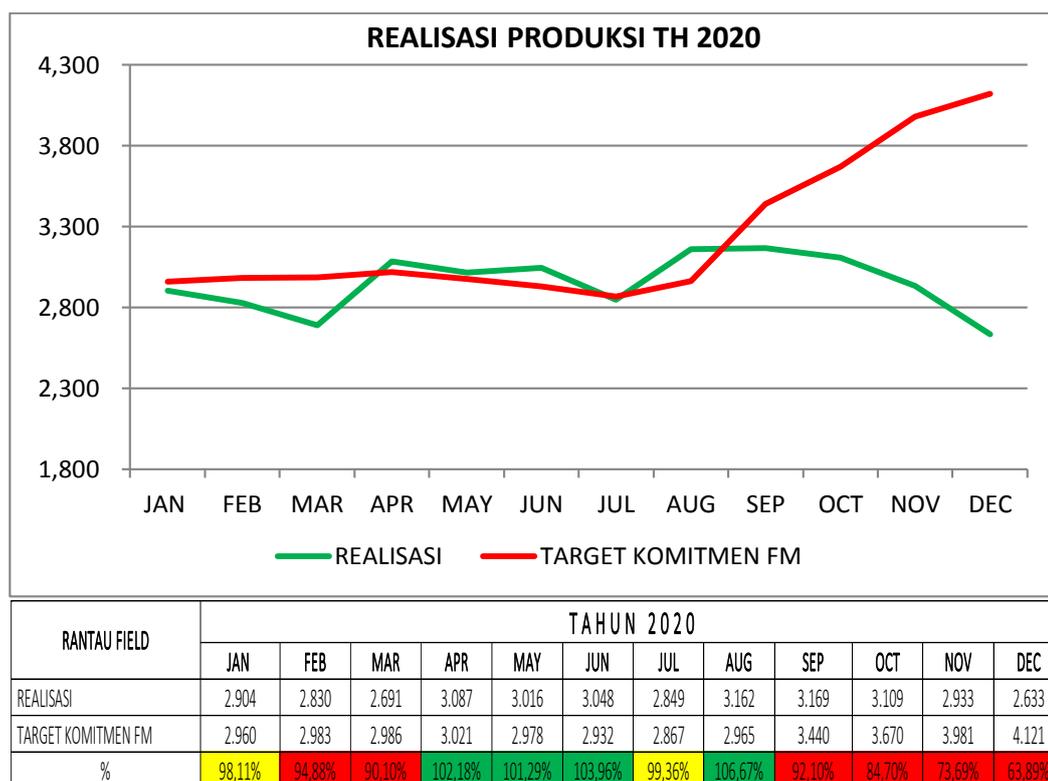
Pertamina Rantau Field telah mengoperasikan 964 sumur, namun sekarang tersisa 79 sumur minyak, 1 sumur gas, dan 55 injeksi, sementara 829 sumur lainnya sudah tidak aktif. Sumur-sumur tersebut tersebar pada 8 struktur, yaitu; Struktur Rantau, Kuala Simpang Barat, Kuala Simpang Timur, Sungai Buluh, Kuala Dalam, Serang Jaya, Pematang Panjang, dan Prapen.



Gambar 1.1 Wilayah Operasional Rantau Field

Lapangan Rantau memiliki target produksi 3,242 BOPD untuk minyak dan gas 3.68 MMSCFD. Dari Gambar 1.2, terlihat bahwa terdapat selisih antara target dan realisasi produksi, sehingga perusahaan melakukan usaha-usaha untuk meningkatkan *lifting* dan tentunya harus ditunjang dengan fasilitas produksi yang memadai. Realisasi produksi tahun 2020 adalah 91% untuk minyak dan 112.5% untuk gas. Minyak diproduksi dari  $\pm$  80 sumur yang tersebar dari 8 struktur, lalu diproses ke masing-masing Stasiun Pengumpul (SP), kemudian dialirkan ke Pusat Pengumpul Produksi (PPP) sebelum terakhir dikumpulkan di Terminal Pangkalan Susu untuk dibawa kapal ke Pusat Pengolahan/ Refinery yang ada di Cilacap dan Balikpapan.

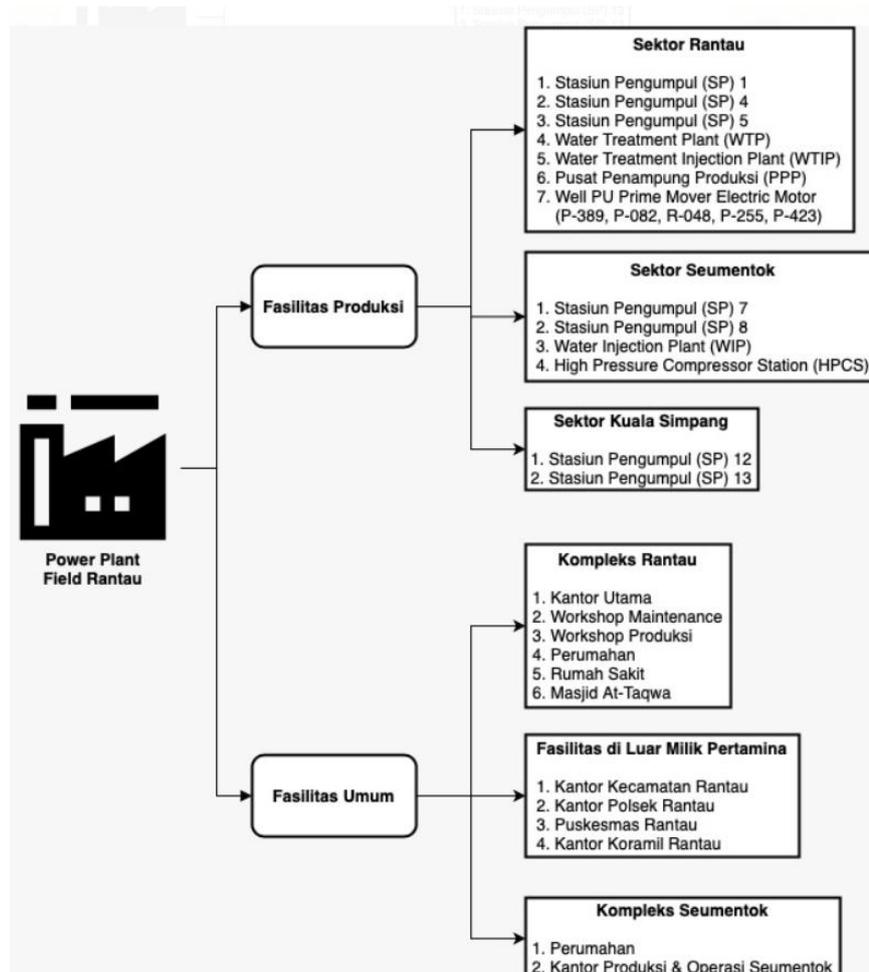
Salah satu sistem yang menunjang operasional produksi minyak dan gas di Rantau Field adalah sistem listrik. Sistem tersebut dihasilkan dari *power plant* dengan memanfaatkan generator untuk mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Sistem listrik digunakan di fasilitas produksi mulai dari sumur, Stasiun Pengumpul (SP), Pusat Pengumpul Produksi (PPP), serta fasilitas umum, seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.3. Hal tersebut menunjukkan bahwa *power plant* memiliki peran vital dalam keberlangsungan operasi perusahaan.



Gambar 1.2 Grafik Realisasi Produksi Rantau Field Tahun 2020

*Power Plant* Rantau Field terdiri dari 5 unit generator dengan kapasitas total sebesar 6,200 KW dan beban operasional sebesar  $\pm$  2200 KW per hari. Energi listrik dihasilkan dengan mengoperasikan 3 unit generator dengan 2 unit lainnya berstatus *standby*. Selain itu, terdapat unit generator *back-up* yang tersebar di beberapa fasilitas produksi dan fasilitas umum dengan penggerak diesel sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.2.

Sepanjang tahun 2018 hingga 2021 setidaknya terjadi 141 kali gangguan pada *power plant*, dengan 20 di antaranya adalah *power blackout* yang menyebabkan padamnya fasilitas produksi dan fasilitas umum. Beberapa fasilitas produksi, khususnya *artificial lift* (pompa angguk dan *electric submersible pump*) yang berpenggerak *electro motor* mati ketika terjadi *power blackout* sehingga menyebabkan kehilangan produksi minyak bumi/*Loss Production Opportunity* (LPO) sebesar 165 barrel seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1.3. Pada awal Tahun 2021 bahkan telah terjadi 2 kali *blackout* dengan LPO sebesar 7 barrel. Selain kerugian akibat LPO, penggunaan unit generator *back-up* berbahan bakar solar akan menambah biaya operasional perusahaan.



Gambar 1.3 Gambaran Umum Sistem Distribusi Listrik dari Power Plant ke Beban Listrik Rantau Field

Pengelolaan risiko terhadap kejadian-kejadian yang disampaikan di atas menjadi sebuah hal yang lazim dihadapi oleh banyak perusahaan. Risiko yang berhubungan dengan kegiatan operasional, seperti di dalamnya risiko pengelolaan kantor, pengoperasian fasilitas, pemadaman listrik, serta timbulnya kejadian yang mengancam kegiatan operasional diklasifikasikan menjadi risiko operasional (Frame, J. Davidson, 2003). Manajemen risiko yang terkait dengan risiko operasional ini dikenal dengan manajemen risiko operasional. Bersamaan dengan hal tersebut terdapat kebutuhan akan pemahaman yang cukup dan komprehensif mengenai manajemen risiko operasional. Untuk itu diperlukan identifikasi dan satu model penilaian untuk mengantisipasi timbulnya risiko operasional dan pengelolaan serta pengendalian risiko operasional untuk memastikan bahwa prosedur operasional berjalan sesuai standar perusahaan. Carbone & Tippet (2004) melaksanakan riset risiko dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) yang sudah dimodifikasi menjadi *Risk Failure Mode Effect and Analysis* (RFMEA). Mengambil contoh aplikasi metode pada industri elektronik, RFMEA mampu lebih cepat dalam penentuan risiko kritis yang membutuhkan perbaikan. Kelebihan dari RFMEA adalah lebih fokus pada kejadian yang bersifat kritis, sehingga setelah risiko tersebut teridentifikasi dapat dilakukan pengembangan *risk response plan* untuk mengurangi kerugian akibat risiko tersebut.

Tabel 1.2 Distribusi Generator Diesel di Fasilitas Produksi dan Fasilitas Umum Rantau Field

NO	FASILITAS FIELD RANTAU	BACK-UP POWER
<b>A</b>	<b>FASILITAS PRODUKSI</b>	
1	SEKTOR RANTAU	
	Stasiun Pengumpul (SP) 1	Tidak Ada
	Stasiun Pengumpul (SP) 4	Tidak Ada
	Water Treatment Plant (WTP)	Tidak Ada
	Water Treatment Injection Plant (WTIP)	Genset WTIP (700 KVA)
	Pusat Penampung Produksi (PPP)	Tidak Ada
	Well PU Prime Mover Electric Motor (P-389, P-082, R-048, P-255, P-423)	Tidak Ada
2	SEKTOR SEUMENTOK	
	Stasiun Pengumpul (SP) 7	Genset WIP (1320 KVA)
	Stasiun Pengumpul (SP) 8	Genset WIP (1320 KVA)
	Water Injection Plant (WIP)	Genset WIP (1320 KVA)
	High Pressure Compressor Station (HPCS)	Genset HPCS (100 KVA)
3	SEKTOR KUALA SIMPANG	
	Stasiun Pengumpul (SP) 12	PLN
	Stasiun Pengumpul (SP) 13	Tidak Ada
<b>B</b>	<b>FASILITAS UMUM</b>	
1	KOMPLEKS RANTAU	
	Kantor Utama	Genset Kantor Utama (130 KVA)
	Kantor ICT	Genset Kantor ICT (53 KVA)
	Kantor Legal & Relation (L&R)	Tidak Ada
	Workshop Maintenance	Tidak Ada
	Workshop Produksi	Tidak Ada
	Perumahan	Genset Kantor Utama (130 KVA) untuk Sebagian Perumahan
	Rumah Sakit	Tidak Ada
	Masjid At-Taqwa	Tidak Ada
2	KOMPLEKS SEUMENTOK	
	Perumahan	Tidak Ada
	Kantor Produksi & Operasi Seumentok	Tidak Ada

Dalam metode RFMEA ini, dilakukan pencarian dua nilai yaitu *Risk Priority Number* (RPN) dan *Risk Score*. Kedua nilai inilah yang digunakan dalam menentukan risiko kritikal, sehingga akan memberikan kelebihan bahwa mode kegagalan dengan nilai deteksi yang tinggi bisa termasuk dalam risiko kritikal karena kegagalan tersebut tidak bisa atau sulit dideteksi kejadiannya, tidak hanya berdasarkan pada *Risk Score* saja.

Tabel 1.3 Data LPO Akibat Permasalahan *Power Plant* Rantau Field Tahun 2018-2020

NO.	TANGGAL	WAKTU		PEKERJAAN	LPO (BBLs)
		MULAI	SELESAI		
1	05-01-2018	09.00	10.00	Trobleshooting jalur Cable Over Head Loop 3,3B	4,88
2	20-03-2018	13.00	17.00	Trobleshooting jalur Cable Over Head Loop 3,3B	2,32
3	29-03-2018	19.00	22.00	Pelepasan beban listrik dan Off genset	6,53
4	25-04-2018	12.30	17.00	Trobleshooting jalur Cable Over Head Loop 3	9,7
5	09-06-2018	14.00	15.00	Trobleshooting jalur Cable Under Ground Loop 3	1,71
6	01-07-2018	10.30	14.30	Perbaikan Cable Under ground Loop 1	3,58
7	03-07-2018	08.30	18.30	Perbaikan Cable Under ground Loop 1	9,13
8	27-08-2018	09.00	11.00	Perbaikan Cable Under ground Loop 1	2,38
9	26-10-2018	11.00	14.30	Perbaikan Cable Under ground Loop 1	2,5
					42,73
10	04-01-2019	13.20	19.30	Gangguan Engine G4	13,06
11	11-06-2019	10.00	16.00	Troubelshooting Panel GGCP G1	3,26
12	22-06-2019	08.00	14.00	Troubleshooting jalur Cable Under ground Loop 1A	1,56
13	13-07-2019	13.10	15.25	Perbaikan Cable Under ground Loop 3,3B	79,33
14	09-08-2019	12.10	12.40	Troubleshooting Geno G5 Trip	1,64
15	20-09-2019	10.00	10.30	Troubleshooting Geno G5 Trip	2,5
16	20-09-2019	15.10	15.05	Troubleshooting Geno G5 Trip	1,09
17	18-12-2019	13.00	14.40	Monitor Amper loop 3,3A	5,12
					107,56
18	10-01-2020	08.00	09.10	Monitor Amper loop 3,3A	3,08
19	09-08-2020	10.00	24.00	Perbaikan Cable Under ground Loop 3,3B	9,39
20	25-09-2020	11.40	14.00	Cek Jalur Cable Over Head Loop 3,3B	2
					14,47
					164,76

Dari riwayat permasalahan yang terjadi dan potensi terjadinya permasalahan-permasalahan lainnya pada *power plant*, maka risiko yang terjadi di *power plant* adalah risiko yang berhubungan dengan kegiatan operasional, yaitu tidak beroperasinya peralatan yang menyebabkan gangguan produksi maupun utilitas (penggunaan listrik kebutuhan perkantoran dan perumahan) dengan kerugian berupa kehilangan produksi minyak atau gas, biaya perbaikan peralatan, penggantian *parts*, serta biaya penggunaan solar untuk pengoperasian unit generator *back-up*. Penting untuk dilakukan penelitian dalam menentukan risiko kritikal dalam kegiatan operasional *power plant* sehingga penyebab dan solusi atau mitigasi dari permasalahan tersebut dapat dicari.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang maka dirumuskan permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

1. Risiko kritikal apa yang mempengaruhi operasional *Power Plant* Rantau Field?
2. Faktor-faktor apa yang menjadi sumber penyebab risiko kritikal tersebut?

3. Tindakan apa saja yang harus dilakukan untuk mengantisipasi risiko kritical yang terjadi?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dan menganalisis risiko kritical dan level risiko, yang mempengaruhi operasional *Power Plant* Rantau Field
2. Mengidentifikasi dan menganalisis sumber dan kombinasi penyebab risiko kritical
3. Merencanakan tindakan mitigasi sebagai *response* untuk mereduksi/ mengeliminasi risiko kritical

### **1.4 Ruang Lingkup Penelitian**

Lingkup kajian pada penelitian yang akan dilaksanakan ini, dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan pada tahun 2018-2021
2. *Impact* akan ditentukan dari :
  - Biaya kehilangan produksi minyak selama unit berhenti beroperasi
  - Biaya pengoperasian unit generator *back-up* berbahan bakar solar
  - Biaya *maintenance* muncul dari biaya *spare parts* dan tenaga kerja
3. Nilai biaya didapat dari :
  - Harga minyak bumi yang berlaku pada saat gangguan muncul
  - Kontrak *spare parts* dan tenaga kerja
  - Jika tidak ada dalam kontrak maka diperoleh dari wawancara dengan narasumber yang kompeten

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat Praktis

- a. Memberikan informasi dan masukan kepada perusahaan terkait risiko-risiko kritikal pada operasional dan respon terhadap risiko-risiko tersebut
  - b. Memberikan informasi dan rekomendasi pola operasional dan pemeliharaan *Power Plant* Rantau Field berdasarkan risiko dan penyebab risiko yang sudah diidentifikasi
2. Manfaat bagi pengembangan akademik
- a. Menerapkan ilmu pengetahuan yang sudah dipelajari di Magister Manajemen Teknologi ITS
  - b. Melatih pola pikir untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan dalam pekerjaan dengan ilmiah dan sistematis

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Pada bab ini dijelaskan sumber-sumber kajian yang merupakan acuan maupun referensi penelitian. Kajian yang dibahas terdiri dari dasar teori *power plant*, profil perusahaan, gambaran *Power Plant*, konsep manajemen risiko, penilaian risiko, serta penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan manajemen risiko operasional *power plant* menggunakan metode *Risk Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA).

#### **2.1 Definisi**

Pada bagian ini, dijelaskan definisi dari beberapa hal terkait dengan manajemen risiko.

##### **2.1.1 Risiko**

ISO 31000 mengatakan bahwa risiko adalah ketidakpastian yang berdampak pada target/sasaran, sedangkan PMI (2000) mendefinisikan risiko sebagai suatu ketidakpastian kondisi, yang jika terjadi dapat berdampak positif atau negative pada kinerja dalam hal biaya, waktu, dan kualitas. Buku Manajemen Risiko berbasis ISO 31000-2018 (Leo J. Susilo, Victor Riwu Kaho, 2018: 36-37) memberikan beberapa penjelasan terkait risiko sebagai berikut:

1. Atribut risiko adalah atribut ketidakpastian, adalah kemungkinan terjadinya dan besarnya dampak.
2. Besar kemungkinan dan dampak dilihat dari data historis dan *judgement* dari orang-orang yang memiliki keahlian/pengetahuan khusus terhadap permasalahan yang ditinjau.
3. Analisa dilakukan secara kualitatif kemudian semi kuantitatif atau kuantitatif sesuai dengan kebutuhan.
4. Risiko adalah peristiwa yang belum terjadi dan memiliki konsekuensi.
5. Pernyataan risiko yang baik harus memiliki kelengkapan informasi setidaknya sebagai berikut:

- a. Penyebab risiko
- b. Peristiwa risiko
- c. Dampak risiko terhadap target/sasaran

Berdasarkan Davidson (2003), risiko dapat diklasifikasikan menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

1. Risiko Murni

Risiko murni ditujukan pada kemungkinan terjadinya luka atau kerugian. Risiko ini terfokus pada kejadian buruk yang terjadi. Biasanya seseorang akan menggunakan jasa asuransi untuk melindungi dirinya dari kerusakan atau kerugian yang akan terjadi.

2. Risiko Bisnis

Risiko bisnis menunjukkan bahwa kemungkinan untuk memperoleh keuntungan sama dengan kemungkinan terjadinya kerugian. Oleh karena itu, seorang pengusaha harus senantiasa memperhatikan setiap risiko yang akan diperoleh dari bisnis tersebut. Yang perlu diingat, semakin besar risiko maka semakin besar pula prospek untuk mendapat keuntungan atau kerugian (*high risk high return*).

3. Risiko Proyek

Risiko yang biasanya terjadi dalam suatu proyek berhubungan dengan estimasi, baik estimasi terhadap waktu ataupun biaya proyek. Risiko yang mungkin terjadi dalam proyek misalnya waktu pengerjaan proyek mengalami keterlambatan dari yang seharusnya, atau bisa juga biaya proyek melebihi dana yang telah dianggarkan.

4. Risiko Operasional

Definisi risiko operasional adalah risiko yang berhubungan dengan kegiatan operasional dalam perusahaan. Risiko timbul ketika terjadinya kejadian yang mengancam kegiatan operasional.

5. Risiko Teknis

Biasanya ketika pertama kali, orang menetapkan sesuatu menjadi risiko atau tidak yaitu saat jadwal, *budget*, tidak sesuai dengan target awal. Jarang yang mempertimbangkan risiko yang disebabkan karena

masalah teknis. Padahal risiko ini seharusnya juga diperhitungkan terutama untuk proyek yang mengedepankan teknologi.

#### 6. Risiko Politis

Risiko ini menunjukkan situasi yang terjadi saat pembuatan keputusan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor politik. Misalnya dalam melakukan investasi pembangunan pabrik, pengusaha harus menyesuaikan perencanaan investasi tersebut dengan kebijakan-kebijakan dari pemerintah setempat.

Risiko kritikal didefinisikan sebagai kemungkinan, signifikan, *near term risk* yang mengakibatkan kegagalan suatu proyek karena tidak dimitigasi (Dorofeev, 1996). Karena signifikan maka risiko tersebut menjadi kritikal. Sementara kegagalan adalah ketidakmampuan untuk memenuhi sesuatu sesuai dengan keinginan dari pengguna (Moubray, 1997).

Dari definisi-definisi di atas, maka risiko yang terjadi di *power plant* adalah tidak beroperasinya peralatan yang menyebabkan gangguan produksi maupun utilitas (penggunaan listrik untuk kebutuhan perkantoran dan perumahan) dengan kerugian berupa kehilangan produksi minyak atau gas, biaya perbaikan peralatan, penggantian *parts*, serta biaya penggunaan solar untuk pengoperasian unit *back-up* generator.

#### 2.1.2 Risiko Operasional

Menurut Davidson (2003), risiko operasional merupakan risiko yang berhubungan dengan kegiatan operasional dalam perusahaan, termasuk di dalamnya risiko dalam menjalankan lini perakitan, pengelolaan kantor, dan pengoperasian fasilitas komputer. Risiko timbul ketika terjadinya kejadian yang mengancam kegiatan operasional.

Menurut Darmawan (2011), risiko operasional disebabkan kegagalan pada lima hal, yaitu kegagalan proses internal perusahaan, kesalahan sumber daya manusia, kegagalan sistem, kerugian yang disebabkan kejadian dari luar perusahaan, dan kerugian karena pelanggaran peraturan dan hukum yang berlaku.

Menurut Basel II Capital Accord, risiko operasional adalah kerugian yang timbul baik secara langsung maupun tidak langsung karena kegagalan atau

ketidacukupan proses internal, orang, sistem, dan karena kejadian eksternal. Disebutkan juga bahwa risiko operasional mencakup empat kategori utama, yaitu sebagai berikut:

1. Sumber Daya Manusia

Risiko ini terkait dengan pekerja, yang merupakan sumber daya paling penting dalam perusahaan, namun pekerja seringkali menjadi penyebab dalam terjadinya risiko operasional.

2. Sistem

Risiko ini berhubungan dengan teknologi dan sistem. Penggunaan teknologi dan sistem dalam kegiatan proses produksi menimbulkan risiko operasional yang disebabkan oleh hal berikut:

- a. Pengendalian perubahan data yang tidak memuaskan
- b. Data yang tidak lengkap

3. Proses

Risiko ini terkait dengan potensi penyimpangan dari hasil yang diharapkan dari proses karena ada penyimpangan atau kesalahan dalam kombinasi sumber data (SDM, keahlian, metode peralatan teknologi dan material) dan karena perubahan lingkungan. Kesalahan prosedur merupakan salah satu bentuk perwujudan risiko proses.

4. Faktor Eksternal

Risiko yang disebabkan oleh reputasi, lingkungan sosial, dan hukum.

Kerugian risiko operasional terjadi tidak saja pada Lembaga keuangan namun juga pada perusahaan industri, perdagangan, pertambangan, dan semua perusahaan dalam sektor ekonomi lainnya.

## 2.2 Dasar Teori

Pada bagian ini, akan dijelaskan dasar teori yang melandasi penelitian kali ini, di antaranya adalah dasar teori mengenai manajemen risiko, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Fault Tree Analysis* (FTA), dan Pembangkit Listrik yang menjadi objek penelitian kali ini.

### 2.2.1 Manajemen Risiko

Manajemen risiko merupakan pendekatan secara ilmu pengetahuan terkait masalah risiko dengan tujuan mengurangi risiko yang dialami oleh industri ataupun organisasi yang juga merupakan proses sistematis untuk mengidentifikasi, menganalisis, merespons, memantau, dan mengendalikan risiko proyek. Manajemen risiko awalnya hanya terdapat di bidang asuransi namun akhirnya berkembang dan diaplikasikan di aspek bisnis serta organisasi di seluruh dunia (Vaughan & Vaughan, 2008).

Manajemen risiko mengenali serta mengelola risiko yang signifikan, melibatkan beberapa tahapan kunci dengan umpan balik berupa proses pemantauan dan peninjauan (Cooper dkk, 2005).

Terdapat enam proses manajemen risiko, yaitu sebagai berikut:

1. Penetapan Lingkup, Konteks, dan Kriteria

Penetapan konteks bertujuan untuk menetapkan target organisasi dan lingkungan target akan dicapai, pemangku kepentingan yang terlibat, dan keberagaman kriteria risiko. Hal-hal tersebut akan membantu mendeskripsikan dan menilai sifat dan kompleksitas risiko.

2. Penilaian Risiko

- a. Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan penyebab penting dari risiko dan ketidakpastian yang mungkin memiliki pengaruh signifikan terhadap tujuan proyek (ICE dan FIA, 1998), apakah dapat dikendalikan dan juga mendokumentasikan karakteristiknya. Ini adalah fase yang penting karena jika risiko tidak teridentifikasi, mungkin tidak akan dianalisis dan dikelola pada langkah selanjutnya. Teknik dan pendekatan yang umum digunakan dalam identifikasi ; *review* dokumen, *brainstorming*, Delphi teknik, *interview*, *checklist*, dan FGD.

- b. Analisis Risiko

Menganalisa dampak dari risiko yang telah diidentifikasi. Metode analisis adalah sebagai berikut:

- i. Metode kualitatif, analisis ini menggunakan kata atau skala deskriptif untuk menggambarkan besarnya konsekuensi potensial dan kemungkinan konsekuensi tersebut akan terjadi. Analisis kualitatif digunakan sebagai berikut:
  - Ketika data numerik tidak memadai untuk analisis kuantitatif
  - Sebagai kegiatan penapisan awal untuk mengidentifikasi risiko yang memerlukan analisis yang lebih detailAktivitas yang dilakukan dalam metode kualitatif adalah sebagai berikut:
  - Menentukan peristiwa risiko yang memerlukan respons
  - Menentukan probabilitas dan dampak
  - Menentukan risiko yang akan dianalisis lebih lengkap dalam kuantifikasi risiko atau melewatkan kuantifikasi risiko untuk langsung menuju perencanaan respons risiko
  - Mendokumentasikan risiko non kritis dan non top risiko
  - Menentukan peringkat risiko keseluruhan untuk proyek tersebut
- ii. Metode kuantitatif, analisis ini menggunakan nilai numerik (bukan skala deskriptif yang digunakan dalam kualitatif). Konsekuensi dapat diperkirakan dengan memodelkan hasil dari data eksperimen atau data sebelumnya. Kemungkinan biasanya dinyatakan sebagai probabilitas, frekuensi, atau kombinasi eksposur dan probabilitas. Tujuan dari proses analisis risiko kuantitatif meliputi hal berikut (Rita Mulcahy, 2010: 164):
  - Menentukan risiko yang memerlukan respons
  - Mengevaluasi probabilitas dan dampak setiap risiko secara objektif

- Menentukan tingkat risiko yang dimiliki proyek saat ini dan apakah tingkat risiko tersebut dapat diterima untuk keuntungan yang diharapkan dari produk proyek
- Menentukan biaya proyek dan waktu yang dibutuhkan jika tidak ada tindakan manajemen risiko lebih lanjut yang diambil untuk mengurangi risiko proyek
- Menentukan risiko yang memerlukan perencanaan respons
- Menentukan kemungkinan pencapaian biaya atau tujuan jadwal untuk proyek tersebut

c. Evaluasi Risiko

Membandingkan hasil analisis risiko dengan kriteria risiko untuk menentukan bagaimana penanganan risiko yang akan diterapkan.

Proses penilaiannya meliputi:

- Menetapkan konsekuensi dari setiap risiko
- Menilai kemungkinan dari konsekuensi yang akan terjadi
- Konversi *rating* konsekuensi dan kemungkinan menjadi prioritas awal risiko
- Mengembangkan prioritas risiko yang telah disetujui beserta levelnya
- Prioritas yang telah disepakati digunakan untuk menentukan *risk event* terbesar yang perlu segera ditangani

3. Perlakuan Risiko

Menurut Cooper dkk, perlakuan risiko adalah menentukan apa yang akan dilakukan sebagai tanggapan atas risiko yang sudah teridentifikasi. Empat penanganan yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut:

- a. Menghindari risiko (*risk avoidance*)
- b. Mitigasi risiko (*risk reduction*)
- c. Membagi risiko (*risk sharing*)
- d. Menerima risiko (*risk acceptance*)

4. Komunikasi dan Konsultasi

Proses ini memastikan bahwa seluruh bagian organisasi dan pemangku kepentingan memberikan dukungan kepada kegiatan manajemen risiko dan memastikan bahwa kegiatan tersebut tepat sasaran.

5. Pemantauan dan Tinjauan

Memastikan bahwa pelaksanaan manajemen risiko berjalan sesuai dengan target yang telah ditetapkan serta menjadikan hasil pemantauan sebagai proses koreksi yang berkelanjutan

6. Pencatatan dan Pelaporan

### **2.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**

*Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) adalah metode identifikasi yang sistematis dan mencegah masalah produk dan proses sebelum terjadi. FMEA difokuskan untuk mencegah kerusakan, meningkatkan keamanan, dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Idealnya, FMEA dilakukan dalam desain atau proses pengembangan produk, namun melakukan FMEA pada produk/proses yang sudah ada tetap memberikan manfaat besar.

Tujuan dari FMEA adalah mencegah masalah proses dan produk sebelum terjadi mode kegagalan. FMEA digunakan dalam proses desain dan manufaktur yang secara substansial mengurangi biaya dengan mengidentifikasi produk dan proses perbaikan di awal proses pengembangan, saat ada perubahan relatif mudah dan murah untuk membuatnya. Hasilnya adalah proses yang lebih kuat karena tindakan korektif setelah kejadian dan perubahan yang terlambat sudah berkurang dan dihilangkan.

FMEA merupakan tata cara analitis dalam menganalisa serta meranking risiko sehubungan dengan beraneka ragam bentuk kegagalan produk ataupun proses, membuat prioritas perbaikan untuk ranking tertinggi serta melaksanakan perbaikan hingga hasil dapat diterima (Barends, Oldenhof, & Nauta, 2012).

FMEA dipakai untuk mengenali sumber- sumber serta pangkal pemicu dari suatu permasalahan mutu. Suatu bentuk kegagalan merupakan setiap yang tercantum dalam kecacatan dalam desain, situasi di luar batasan spesifikasi, ataupun

perubahan dalam produk yang menimbulkan terganggunya fungsi dari produk tersebut.

Analisis dari suatu evaluasi dapat dilakukan dengan dua tindakan. Pertama, dengan menggunakan data historis, seperti analisis data untuk produk dan/atau layanan serupa, data garansi, keluhan pelanggan, dan informasi lain yang tersedia, untuk menentukan kegagalan. Kedua, statistik inferensial, pemodelan matematika, simulasi, teknik konkuren, dan teknik keandalan dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan kegagalan (Stamatis, 1989,1991a, 1992).

Menggunakan FMEA tidak berarti bahwa satu pendekatan lebih baik dari yang lain, atau yang satu lebih akurat dari yang lain. Keduanya dapat menjadi efisien, akurat, dan benar jika dilakukan dengan benar dan tepat.

Setiap FMEA yang dilakukan dengan baik dan tepat akan memberikan informasi yang berguna kepada praktisi yang dapat mengurangi risiko (pekerjaan) beban dalam sistem, desain, proses, dan layanan. Ini karena metode ini adalah metode (teknik) analisis potensi kegagalan yang logis dan progresif yang memungkinkan tugas untuk dilakukan dengan lebih efektif. FMEA adalah salah satu tindakan pencegahan awal terpenting dalam sistem, desain, proses, atau layanan yang akan mencegah kegagalan dan kesalahan terjadi dan menjangkau pelanggan (Kececioglu, 1991).

FMEA akan mengidentifikasi tindakan korektif yang diperlukan untuk mencegah kegagalan mencapai pelanggan, dengan demikian memastikan daya tahan, kualitas, dan keandalan tertinggi dalam produk atau layanan. FMEA yang baik:

- Mengidentifikasi mode kegagalan yang diketahui dan potensial
- Mengidentifikasi penyebab dan efek dari setiap mode kegagalan
- Memprioritaskan mode kegagalan yang diidentifikasi sesuai dengan nomor prioritas risiko (RPN) — hasil kali dari frekuensi kemunculan, keparahan, dan deteksi
- Menyediakan tindak lanjut masalah dan tindakan korektif

Mode kegagalan adalah kejadian yang menyebabkan kegagalan fungsional (Moubray, 1997). Untuk memudahkan pengenalan dari banyaknya mode

kegagalan, pengategorian bentuk kegagalan dapat dilakukan dari sistem ataupun peralatan.

Untuk memastikan prioritas dari sesuatu kegagalan memakai *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), perlu didapatkan nilai *severity*, *occurrence*, *detection*, dan Risk Priority Number (RPN), dengan penjelasan mengenai masing-masing nilai tersebut adalah sebagai berikut:

- *Severity* adalah tingkat keparahan dari konsekuensi atau dampak ketika kegagalan terjadi.
- *Occurance* adalah tingkat kejadian atau kemungkinan frekuensi atau kemungkinan frekuensi atau seberapa sering mode kegagalan yang diidentifikasi dapat terjadi.
- *Detection* adalah tingkat potensi kegagalan dari mode kegagalan yang diidentifikasi bila terjadi.

Dengan mengalikan *severity* x *occurrence* x *detection*, akan didapat nilai RPN untuk memperoleh ranking prioritas risiko, sehingga risiko dominan dapat teridentifikasi untuk kemudian diselesaikan.

### **2.2.3 Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA)**

*Risk Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA) merupakan metode modifikasi sehingga menjadi salah satu bagian dari metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Pada tahun 2004, Carbone dan Tippet melakukan penelitian dengan memodifikasi format FMEA ke dalam format *Risk FMEA*. Dengan mengambil latar belakang industri elektronik, dicari proses yang paling kritical dalam pembuatan suatu perangkat elektronik.

Dalam mengelola proyek dibutuhkan metode untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko agar memiliki tingkat kesuksesan yang baik. Metode tersebut dikenal dengan RFMEA. Semula, metode ini dikenal dengan nama FMEA, namun karena dikhususkan untuk pengelolaan risiko, maka menjadi RFMEA.

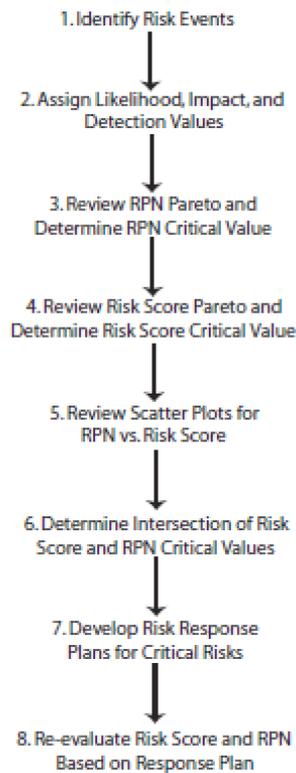
Dalam mengelola risiko, dibutuhkan wawancara dengan para ahli, nilai uang yang diharapkan, matriks respons bersama dengan metode terbaru lainnya seperti Metode Monte-Carlo. Metode RFMEA tidak hanya menganalisa risiko

proyek, namun juga berfokus kepada rencana proyek yang berkelanjutan yang dapat mengidentifikasi masa kritis di awal proyek.

Tabel 2.1 Formulir FMEA dan RFMEA yang Distandarkan

Typical FMEA Columns	Failure ID	Failure Mode	Occurrence	Severity		Detection	RPN
Typical RFMEA Columns	Risk ID	Risk Event	Likelihood	Impact	Risk Score	Detection	RPN

Dalam menggunakan pendekatan RFMEA, ada beberapa modifikasi yang diperlukan pada format FMEA standar. Proyek RFMEA adalah alat untuk mengidentifikasi, mengukur, dan menghilangkan atau mengurangi risiko dalam lingkungan proyek versus aspek teknis produk seperti yang diidentifikasi dalam FMEA. RFMEA digunakan bersama dengan FMEA yang dikembangkan untuk desain produk, pengembangan proses, dan penyebaran layanan. Sampel FMEA standar dan formulir RFMEA diberikan di Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Langkah-Langkah dalam Proses RFMEA

Metode RFMEA dijelaskan pada Gambar 2.1 (Carbone & Tippet, 2004) dengan penjabaran tahapan metode sebagai berikut:

1. Identifikasi Kejadian Risiko

Tim bertukar pikiran tentang *risk events*. Setiap kejadian diidentifikasi dalam bentuk “jika x terjadi, maka y akan terjadi, dengan x adalah peristiwa risiko dan y adalah dampak dari kejadian yang terjadi”. Dampaknya dapat berupa penundaan waktu yang serius, peningkatan biaya, atau keduanya.

2. Menetapkan Nilai *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection*

Memasukkan nilai untuk kemungkinan, dampak, dan deteksi ditentukan oleh suara tim. Tim membahas skor dan menyetujui nilai yang mungkin memerlukan data tambahan dari para ahli atau ulasan RFMEA sebelumnya. Dengan memiliki tenaga profesional yang berpengalaman dari berbagai latar belakang yang berkontribusi pada RFMEA, kualitas analisis sangat meningkat. Prosedur penilaian direplikasi untuk faktor dampak dan deteksi.

3. *Review* RPN Pareto dan Menentukan RPN *Critical Value*

Setelah nilai untuk ketiga faktor dimasukkan, kedua skor risiko dan nilai RPN dihitung. Langkah ketiga adalah meninjau RPN Pareto untuk menentukan nilai RPN kritis. Karena setiap proyek unik, begitu pula risiko dan nilai RPN yang sesuai. Jadi, analisis Pareto adalah langkah penting untuk menentukan nilai yang akan digunakan.

4. *Review* Nilai Risiko Pareto dan Menentukan Nilai Risiko *Critical Value*

Pareto serupa dibuat untuk skor risiko, dan nilai kritis ditentukan untuk ukuran tersebut. Nilai kritis hanya memberikan panduan untuk memprioritaskan perencanaan respons risiko.

5. Membuat *Scatter Plot* antara RPN dan Angka *Risk Factor*

Setelah nilai kritis diketahui, baik RPN maupun skor risiko, langkah kelima adalah membuat diagram pencar untuk RPN versus skor risiko. Tidak ada harapan bahwa data yang diplot sesuai dengan *pattern* tertentu.

6. Menentukan Risiko-Risiko Berdasarkan Titik Kritis RPN dan *Risk Factor*

Dengan ditentukannya titik kritis antara RPN dan *risk factor*, maka pilih risiko-risiko yang berada di atas titik kritis RPN dan *risk factor*. Risiko-risiko inilah yang perlu mendapatkan perhatian lebih selama proyek dijalankan.

7. Membuat Rencana Tanggap Risiko

Setelah selesai mengidentifikasi risiko-risiko yang menjadi prioritas, kita harus mempertimbangkan cara untuk menghadapi risiko tersebut seperti langkah untuk menghindari risiko, memindahkan risiko, mengurangi serta menerima risiko yang ada. Berdasarkan kemungkinan-kemungkinan tersebut, kita dapat menentukan kembali angka untuk RPN dan *risk factor*.

8. Melakukan Evaluasi Kembali terhadap Angka *Risk Factor* dan RPN

Langkah terakhir adalah dengan melakukan perhitungan kembali diikuti dengan melihat risiko-risiko yang berada di bawah atau masih di atas titik kritis. Jika hal ini tidak berhasil, maka kita harus mengubah rencana tanggapan risiko.

Beberapa manfaat RFMEA adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Berwujud

- a. Waktu yang dihabiskan di awal perencanaan pencegahan risiko lebih sedikit
- b. RFMEA memberikan metode yang lebih baik untuk menentukan perencanaan mana yang dapat ditunda, memiliki lebih banyak waktu untuk fokus pada risiko yang paling kritis.
- c. Nilai deteksi memberi manfaat lain lebih dari sekedar menggunakan *risk score* dengan membantu penemuan metode deteksi baru untuk gejala risiko kritis yang ditemukan

2. Manfaat Tidak Berwujud

- a. Tingkat frustrasi tim dapat diturunkan (Carbone & Tippet, 2004)
- b. Meningkatkan pembelajaran organisasi merupakan manfaat lain dari RFMEA. Walewski, Gibson, dan Vines (2002) mengatakan

bahwa mendokumentasikan elemen-elemen risiko dan menentukan risiko kritikal adalah sebuah pelajaran yang bisa dipelajari.

#### 2.2.4 Fault Tree Analysis (FTA)

Salah satu metode yang digunakan untuk menelusuri kerusakan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA). *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode deduktif dan *top-down* yang menganalisis sistem desain dan kinerja yang mencakup penetapan *top event* untuk dianalisis (contohnya kebakaran), kemudian diikuti dengan mengidentifikasi semua elemen terkait dalam sistem yang dapat menyebabkan *top event* terjadi. FTA memberikan representasi simbolis dari kombinasi peristiwa yang mengakibatkan terjadinya *top event* (Hoyland & Rausand, 1994).

FTA menggunakan langkah-langkah terstruktur dalam melakukan analisis pada sistem. Adapun langkah-langkah FTA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kejadian/peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*)
2. Membuat pohon kesalahan (*fault tree*)
3. Menganalisis pohon kesalahan (*fault tree*). Tahap-tahap analisis pohon kesalahan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu sebagai berikut:
  - a. Menyederhanakan pohon kesalahan
  - b. Menentukan peluang munculnya kejadian atau peristiwa terpenting dalam sistem (*top level event*)
  - c. Melakukan *review* hasil analisis

*Output* yang diperoleh setelah melakukan FTA adalah mendapatkan kejadian terpenting dalam sistem dan memperoleh penyebab utama permasalahannya.

Simbol-simbol dalam FTA dibagi menjadi dua sebagai berikut:

1. Simbol *Gate*

Simbol ini menunjukkan hubungan antar kejadian dalam suatu sistem. Setiap kejadian dalam sistem dapat secara tunggal atau bersama-sama menyebabkan munculnya kejadian lain.

Tabel 2.2 Simbol *Gate* dalam FTA

No	Simbol	Deskripsi
1		<i>And gate</i> Digunakan untuk menunjukkan kejadian output muncul hanya jika semua input terjadi.
2		<i>OR gate</i> Gerbang OR dipakai untuk menunjukkan bahwa kejadian yang akan muncul terjadi jika satu atau lebih kejadian gagal yang merupakan inputnya terjadi.
3		<i>Transfer gate</i> Transfer dari atau ke bagian lain dari <i>Fault Tree</i> .

2. Simbol Kejadian

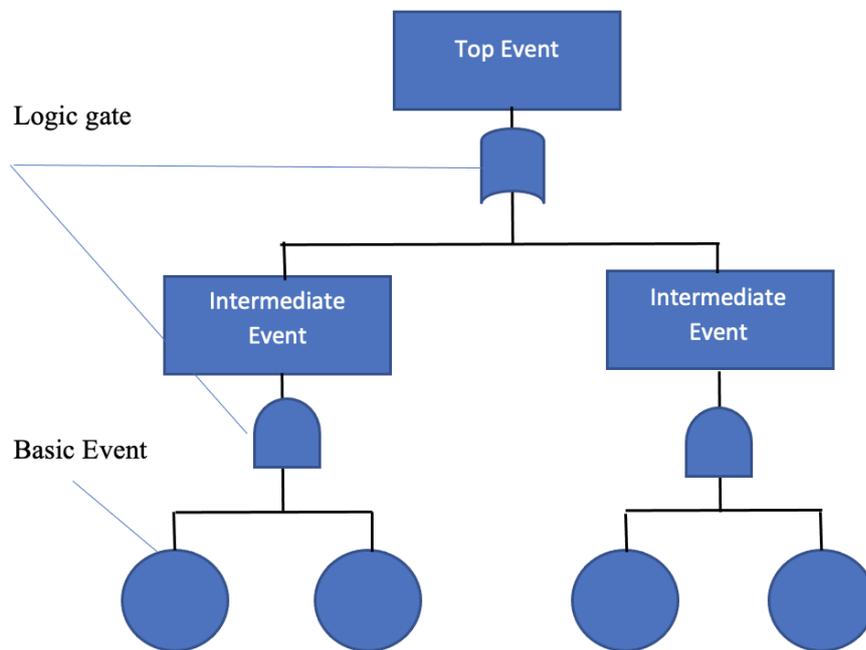
Simbol kejadian adalah symbol-simbol yang berisi keterangan kejadian pada sistem yang ada pada suatu proses terjadinya *top event*.

Tabel 2.3 Simbol Kejadian dalam FTA

No	Simbol	Deskripsi
1		<i>Circle</i> Simbol lingkaran ini digunakan untuk menyatakan basic event atau primary event atau kegagalan mendasar yang tidak perlu dicari penyebabnya
2		<i>Diamond</i> Simbol diamond ini digunakan untuk menyatakan <i>undeveloped event</i> atau kejadian tidak yang tidak dapat lagi berkembang, yaitu suatu kejadian kegagalan tertentu yang tidak dicari penyebabnya lagi baik karena kejadiannya tidak cukup berhubungan atau karena tidak tersedia informasi yang terkait dengannya sehingga menjadi suatu

		kejadian akhir dari suatu masalah yang terjadi pada suatu penelitian.
3		<i>Rectangle</i> Gambar <i>rectangle</i> menunjukkan kejadian pada level atas ( <i>top fault event</i> ) ataupun kejadian pada level menengah ( <i>intermediate fault event</i> ) dalam pohon kesalahan.
4		<i>External</i> Simbol rumah digunakan untuk menyatakan <i>external event</i> yaitu kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak termasuk dalam kejadian gagal.

Contoh symbol dalam *Fault Tree Analysis* ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Ilustrasi *Fault Tree*

Langkah selanjutnya dari *Fault Tree Analysis* adalah penentuan nilai probabilitas dari *events* yang dijabarkan pada FTA yang telah dibuat. Dalam menentukan *probability*, diperlukan sumber data yang didapatkan dari sumber sebagai berikut:

1. Data Riwayat Kegagalan Sistem
2. Data dari *Manufacturer*
3. Data Standard/*Handbook*

Pada penelitian ini, nilai probabilitas dari events pada FTA akan ditentukan menggunakan metode *empirical probability*, yang menggunakan frekuensi kejadian pada data riwayat kegagalan operasional sebagai dasar penentuan nilai probabilitas.

### **2.2.5 Pembangkit Listrik (Power Plant)**

*Pembangkit listrik* merupakan fasilitas yang terdiri dari sekumpulan mesin dan peralatan untuk mengubah energi laten dari beberapa sumber energi menjadi energi listrik (J. W. Esterline, 1911: 1). Energi listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan melalui sistem transmisi dan distribusi listrik menuju beban-beban listrik. Terdapat beberapa tipe pembangkit listrik yang umum ditemukan (James E. Mack & Thomas M. Shoemaker, 2002: 68), yaitu sebagai berikut:

- a. Pembangkit listrik hidroelektrik
- b. Pembangkit listrik *steam turbine*
  - Fosil
  - Nuklir
- c. *Combustion turbine*
- d. Pembangkit listrik *internal-combustion engine*
- e. Pembangkit listrik tenaga panas bumi
- f. Pembangkit listrik tenaga surya
- g. Pembangkit listrik tenaga angin
- h. Pembangkit listrik udara terkompresi

Dalam penulisan kali ini, pembahasan akan berfokus pada pembangkit listrik *internal-combustion engine*, karena pembangkit tersebut adalah tipe yang digunakan pada *power plant* Field Rantau.

#### **2.2.5.1 Pembangkit Listrik Internal-Combustion Engine**

Pembangkit listrik *internal-combustion engine* merupakan pembangkit listrik yang menggunakan *internal-combustion engine* untuk menghasilkan energi listrik. *Rated output* dari generator berpenggerak *internal-combustion engine* dapat bervariasi dari 5 KW hingga 18 MW, sehingga memiliki variasi aplikasi yang luas sebagai pembangkit listrik, mulai dari melayani beban listrik skala kecil seperti beban listrik residensial, hingga beban listrik skala menengah dan besar seperti beban listrik industri (Antti Alahäivälä dkk, 2017: 3).

Dalam implementasi sebagai pembangkit listrik, terdapat beberapa jenis *internal-combustion engine* yang diklasifikasikan berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan, yaitu *engine* berbahan bakar solar, minyak, dan gas. Dalam tesis ini, pembahasan akan berfokus pada pembangkit listrik dengan *internal-combustion engine* berbahan bakar gas.

Secara umum, pembangkit listrik *internal combustion engine* berbahan bakar gas terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sebagai berikut:

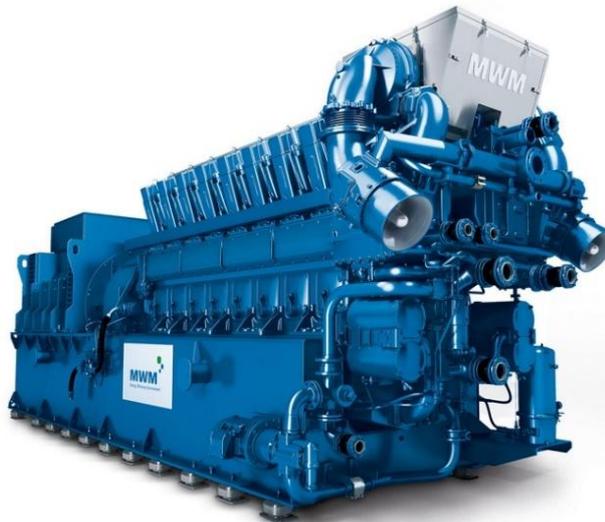
1. *Internal-Combustion Engine Generator Set*

*Internal-combustion engine* adalah mesin panas yang mengonversi energi kimia dari bahan bakar menjadi energi mekanik, biasanya keluar melalui *shaft* dari *engine* (Williard W. Pulkrabek, 2004:1). *Internal-combustion engine generator set* terdiri dari beberapa komponen, yaitu sebagai berikut:

- a. *Internal-combustion engine*, berperan sebagai *prime mover* (penggerak utama) dari generator.
- b. Generator, komponen yang berperan mengonversikan energi mekanik menjadi energi listrik.
- c. *Torsionally flexible coupling*, berperan menghubungkan *engine* dan generator.
- d. *Base frame*, komponen tempat meletakkan *engine* dan generator.

Gambar 2.1 menunjukkan *internal-combustion engine generator set* berbahan bakar gas yang digunakan sebagai pembangkit listrik. Berdasarkan referensi dari buku *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine* (Williard W. Pulkrabek, 2004: 1-2), prinsip kerja dari *internal-combustion engine generator set* secara

umum adalah sebagai berikut. Energi kimia dari bahan bakar dikonversikan menjadi energi termal (panas) melalui proses pembakaran atau oksidasi dengan udara di dalam *engine*. Energi termal tersebut akan meningkatkan temperature dan tekanan dari gas di dalam *engine*, dan gas bertekanan tinggi tersebut kemudian mengembang melawan mekanisme mekanik dari *engine*. Ekspansi ini kemudian dikonversikan oleh hubungan mekanis dari *engine* menuju *rotating crankshaft*, yang merupakan *output* dari *engine*. *Crankshaft*, pada gilirannya, terhubung dengan transmisi atau *power train* untuk menyalurkan energi mekanik ke penggunaan yang dituju. Dalam hal sebagai komponen pembagi, energi ini akan disalurkan untuk menggerakkan generator yang nantinya akan mengonversi energi mekanik tersebut menjadi energi listrik.



Gambar 2.3 *Internal-Combustion Engine* Generator Set Berbahan Bakar Gas

## 2. *Fuel Gas System*

*Fuel gas system* merupakan serangkaian sistem yang berperan untuk menjaga parameter-parameter gas dan menyalurkan gas tersebut menuju *internal-combustion engine* yang digunakan pada sistem pembangkit. Gas tersebut berperan sebagai bahan bakar dari *engine*.

Parameter-parameter gas yang dikondisikan adalah tekanan dan komposisi gas (menjaga gas tetap kering dan bersih dari *impurities* yang berpotensi mengganggu kinerja dari *engine*).

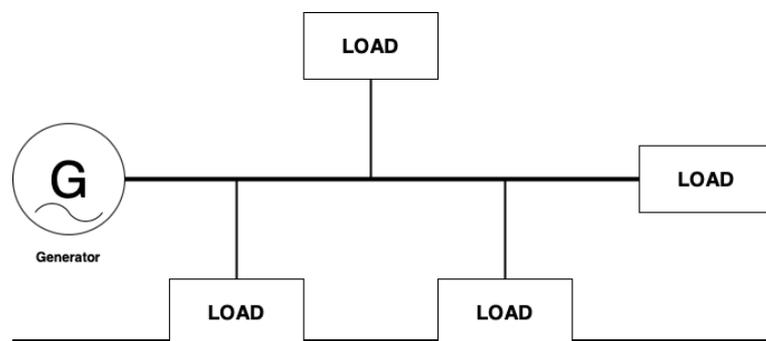
### 3. Sistem Transmisi Listrik

Sistem transmisi merupakan sebuah set konduktor bertegangan menengah hingga tinggi dan mentransmisikan energi listrik dari pembangkit menuju beban listrik. Rangkaian sistem transmisi dibangun di antara gardu (*substation*) yang terletak pada pembangkit listrik atau titik sakelar (*switching point*) pada sistem listrik. Rangkaian sistem transmisi dapat berbentuk kabel udara (*overhead cable*), dan dapat berbentuk kabel bawah tanah (*underground cable*) (James E. Mack & Thomas M. Shoemaker, 2002: 77).

Terdapat tiga jenis arsitektur sistem transmisi yang dapat diimplementasikan (Prakash, 2016: 124-128), yaitu sebagai berikut:

#### a. Struktur Jaringan *Radial*

Secara topologi, struktur jaringan *radial* berbentuk seperti pohon, tanpa adanya *closed loop*. Gambar 2.4 menunjukkan gambaran umum dari struktur jaringan *radial*.



Gambar 2.4 Struktur Jaringan *Radial*

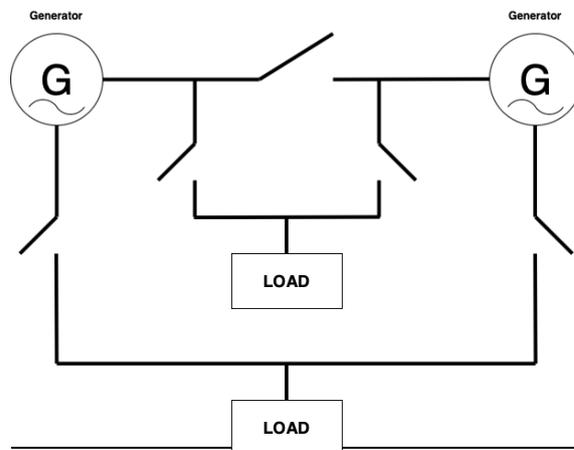
Terdapat beberapa keunggulan dan kekurangan dari struktur jaringan *radial* yang dijelaskan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan Radial

No	Keunggulan	Kekurangan
1	Struktur jaringan sederhana dari sisi desain	Fleksibilitas rendah (terutama ketika akan ada penambahan beban atau kapasitas)
2	Mudah dalam implementasi teknik kompensasi tegangan (seperti kompensator daya reaktif)	Titik akhir jalur distribusi rentan mengalami fluktuasi tegangan yang tinggi
3	Biaya awal yang rendah	Ketergantungan beban terhadap satu <i>feeder</i> berdampak pada banyak beban listrik jika jalur tersebut mengalami <i>fault</i> ( <i>availability</i> rendah)

b. Struktur Jaringan Ring/Loop

Struktur jaringan *ring/loop* merupakan jaringan dengan struktur yang membentuk jalur dan menyalurkan listrik seperti *loop*, berawal dari sumber pembangkit melalui serangkaian beban listrik dan kemudian kembali ke sumber awal. Jaringan ini membentuk sebuah *closed loop*. Gambar 2.5 menunjukkan gambaran umum dari struktur jaringan *ring/loop*.



Gambar 2.5 Struktur Jaringan *Ring/Loop*

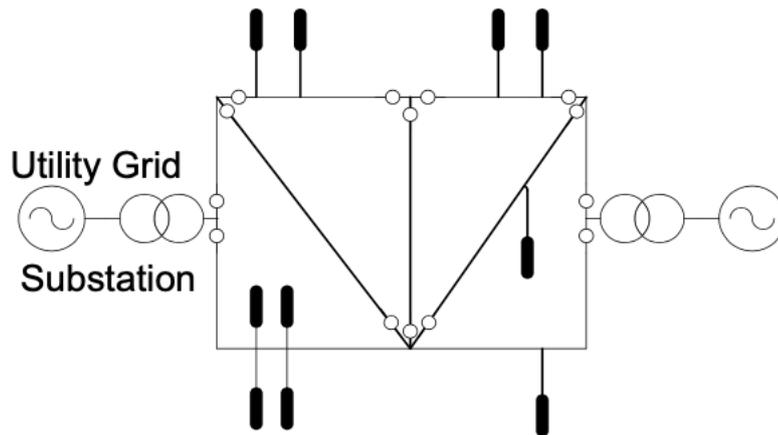
Terdapat beberapa keunggulan dan kekurangan dari struktur jaringan ring/loop yang dijelaskan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan *Ring/Loop*

No	Keunggulan	Kekurangan
1	Jaringan yang membentuk <i>closed loop</i> memungkinkan diterapkannya beberapa zona proteksi dalam jaringan <i>ring</i> tersebut.	Ketergantungan struktur yang tinggi terhadap kabel yang menghubungkan komponen-komponen lain di dalam jaringan
2	Memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan jaringan <i>radial</i> bahkan ketika terdapat penambahan beban listrik	Desain lebih kompleks dibandingkan struktur jaringan <i>radial</i>
3	<i>Availability</i> yang tinggi, karena meskipun satu <i>feeder</i> terjadi <i>fault</i> , <i>ring distributor</i> masih dapat tetap aktif dari <i>feeder</i> lainnya yang terkoneksi ke beban tersebut.	Biaya yang lebih tinggi dibandingkan struktur jaringan <i>radial</i>

c. Struktur Jaringan Mesh

Struktur jaringan *mesh* pada dasarnya mengikuti struktur jaringan *radial*, tetapi memiliki *redundant line* sebagai tambahan dari jalur utama. Jalur *redundant* tersebut berperan sebagai jalur cadangan yang digunakan ketika dilakukan *rerouting* jalur ketika jalur utama mengalami *failure*. Gambar 2.6 menunjukkan gambaran umum dari struktur jaringan *mesh*.



Gambar 2.6 Struktur Jaringan *Mesh* (Prakash, 2016: 127)

Terdapat beberapa keunggulan dan kekurangan dari struktur jaringan mesh yang dijelaskan pada Tabel 2.6.

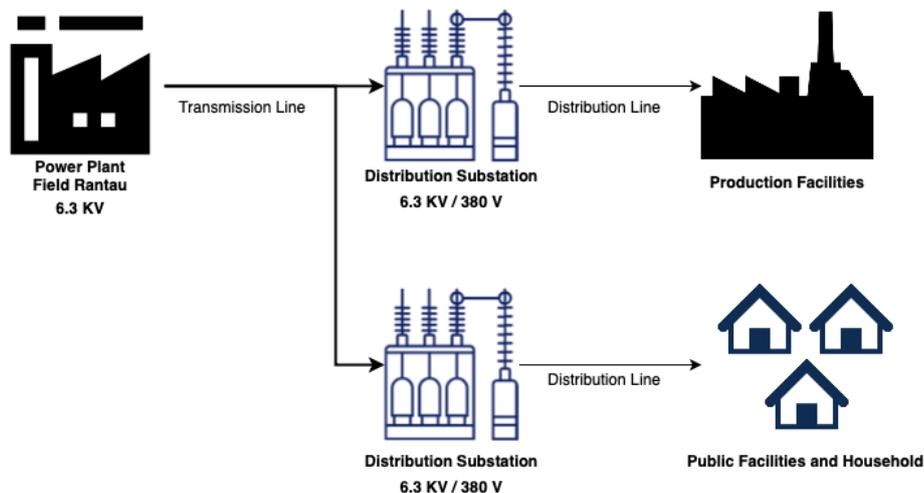
Tabel 2.6 Keunggulan dan Kekurangan Struktur Jaringan *Mesh*

No	Keunggulan	Kekurangan
1	Dengan menggunakan metode kendali <i>droop</i> tradisional, akurasi pembagian daya beban yang akurat dapat diperoleh ketika daya <i>output DC converter</i> diatur berbanding terbalik dengan koefisien <i>droop</i> yang bersangkutan.	Struktur <i>mesh</i> memanfaatkan metode nonlinear yang memiliki keterbatasan fokus hanya pada jaringan tanpa <i>loss</i> dengan jalur distribusi induktif murni, sehingga tidak tepat diimplementasikan pada jaringan dengan rasio R/X yang heterogeny, yang biasa ditemui pada jaringan tegangan rendah.
2	Dapat mengurangi potensi terjadinya <i>load sharing error</i>	Tidak menjamin dapat melakukan pembagian daya reaktif karena analisa hanya bisa dilakukan dengan <i>droop control</i>
3		<i>Delay</i> komunikasi dapat menjadi parameter sensitif yang dapat memberikan

		dampak signifikan terhadap stabilitas jaringan
--	--	--

### 2.2.6 Power Plant Field Rantau

Gambar 2.7 menggambarkan diagram blok sistem listrik di Field Rantau dari Power Plant Field Rantau hingga ke beban-beban listrik. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa sistem listrik Field Rantau dihasilkan oleh Power Plant Field Rantau dengan tegangan *output* sebesar 6.3 kV. Kemudian listrik disalurkan melalui *transmission line* hingga tiba di *Distribution Substation*. Di dalam *Distribution Substation* ini, tegangan diturunkan dari 6.3 kV menjadi 380 V dengan *step down transformer* sebelum akhirnya disalurkan melalui *distribution line* ke beban-beban listrik di sekitar *Distribution Substation* tersebut.



Gambar 2.7 Diagram Blok Sistem Listrik Rantau Field

Pada bagian ini, akan dijelaskan sub-sistem utama Power Plant Field Rantau, peran dan operasional Power Plant Field Rantau, dan permasalahan-permasalahan yang umum terjadi di Power Plant Field Rantau.

#### 2.2.6.1 Komponen Utama Power Plant Field Rantau

Power Plant Field Rantau dibagi menjadi 3 komponen utama, yaitu sebagai berikut:

1. Gas Engine Generator Set

Power Plant Field Rantau terdiri dari 5 unit *gas engine generator set*. Tabel 2.7 menggambarkan spesifikasi dan kapasitas dari setiap *gas engine generator*.

Tabel 2.7 Data Gas Engine Generator Power Plant Field Rantau

No	Unit Generator Set	Spesifikasi Generator				Spesifikasi Prime Mover		
		Merk	Kap. (KVA)	Volt (V)	Freq (Hz)	Merk	Kap. (KW)	Bahan Bakar
1	DEUTZ TBG 620V16K	Stamford	1650	6300	50	DEUTZ	1320	Gas
2	DEUTZ TBG 620V16K	Stamford	1650	6300	50	DEUTZ	1320	Gas
3	MWM TCG 2020V16K	AVK	2470	6300	50	MWM	1400	Gas
4	MWM TCG 2020V12K	AVK	1662	6300	50	MWM	1100	Gas
5	MWM TCG 2020V12K	AVK	1662	6300	50	MWM	1100	Gas

Gas Engine yang digunakan terdiri dari beberapa sistem, yaitu sebagai berikut:

a. Engine Cooling System

*Engine cooling system* merupakan sistem pendingin *engine*. Panas dari *engine* akan diserap oleh fluida pendingin, dalam hal ini air, yang nantinya akan ditransfer melalui sebuah *heat exchanger*. Panas yang sudah ditangkap akan dikeluarkan ke atmosfer melalui sebuah radiator atau menara pendingin (*cooling tower*).

b. Fuel System

*Fuel system* merupakan sistem pengaturan bahan bakar di dalam *engine* setelah gas diterima dari sumber (*fuel gas system* eksternal *engine*). Campuran gas dan udara kemudian masuk ke dalam ruang

pembakaran. Pembakaran akan diinisiasi dengan pemantikan eksternal (*external ignition*) melalui sebuah *spark plug*. Karakteristik gas pembakaran minimum yang akan memasuki *engine* harus dijaga sesuai dengan data yang dipersyaratkan untuk *engine* yang digunakan.

c. Lubricating Oil System

*Lubricating oil system* pada *engine* diimplementasikan sebagai sistem pelumasan dengan wadah tempat oli berkumpul basah (*wet sump lubricating system*). Setiap *engine* memiliki pompa oli pelumas integral; Oli difilter dan didinginkan dengan filter dan pendingin oli terpisah.

d. Combustion Air System

*Combustion air system* merupakan sistem yang berperan sebagai pengatur udara yang akan menjadi salah satu komponen campuran bahan bakar pada *engine*.

e. Exhaust System

*Exhaust system* merupakan sistem yang berfungsi untuk transfer gas yang diproduksi oleh proses pembakaran pada *engine* ke atmosfer. Komponen dari *exhaust system* terdiri dari tiga, yaitu: *Catalytic converters*, *lifting lungs*, dan *insulation*.

f. Compressed Air System

*Compressed air system* berperan dalam proses *engine start*. *Engine* dihidupkan dengan *starter* udara terkompresi yang bekerja pada *flywheel gear rim*.

g. Electrical Switchgear Systems

Sistem ini merupakan sistem terpusat yang terdiri dari *circuit breakers*, *fuses*, dan *switches* (peralatan proteksi rangkaian listrik) yang berfungsi untuk melindungi, mengontrol, dan mengisolasi peralatan listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh *gas engine-powered generator* akan dikontrol pada *switchgear* ini. *Electrical*

*switchgear* sendiri umum ditemui di fasilitas-fasilitas sistem transmisi atau distribusi listrik.

Kemudian, *gas engine generator* juga memiliki beberapa sistem pendukung eksternal, yaitu sebagai berikut:

a. Pompa High Temperature (HT)

Pompa HT berfungsi sebagai pendingin dari *gas engine*. Pompa HT memompakan fluida pendingin yang akan disirkulasikan ke *gas engine*. Pompa HT menggunakan *prime mover electric motor*.

b. Fan Radiator

*Fan Radiator* berfungsi sebagai pembuang panas dari *gas engine*. *Fan Radiator* terdiri dari kipas dalam jumlah tertentu untuk setiap *gas engine* yang digerakkan oleh *electric motor*.

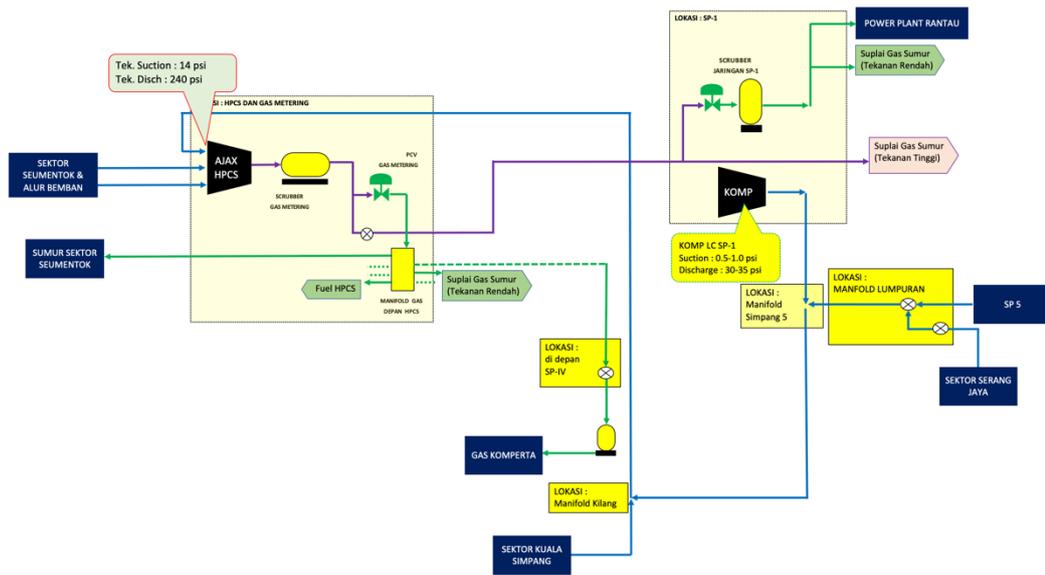
c. Pompa Lubrikasi

Pompa lubrikasi berperan dalam proses lubrikasi *engine*. Pompa akan membantu memompakan oli lubrikasi yang berada di penampungan oli di luar *engine* ke dalam sistem oli lubrikasi pada *engine*.

Dalam operasional lapangan, dari lima *gas engine generator* yang tersedia, pola operasionalnya adalah mengoperasikan tiga *gas engine generator* dan dua *gas engine generator* dalam posisi *standby*.

2. Sistem Gas Bahan Bakar (*Fuel Gas System*)

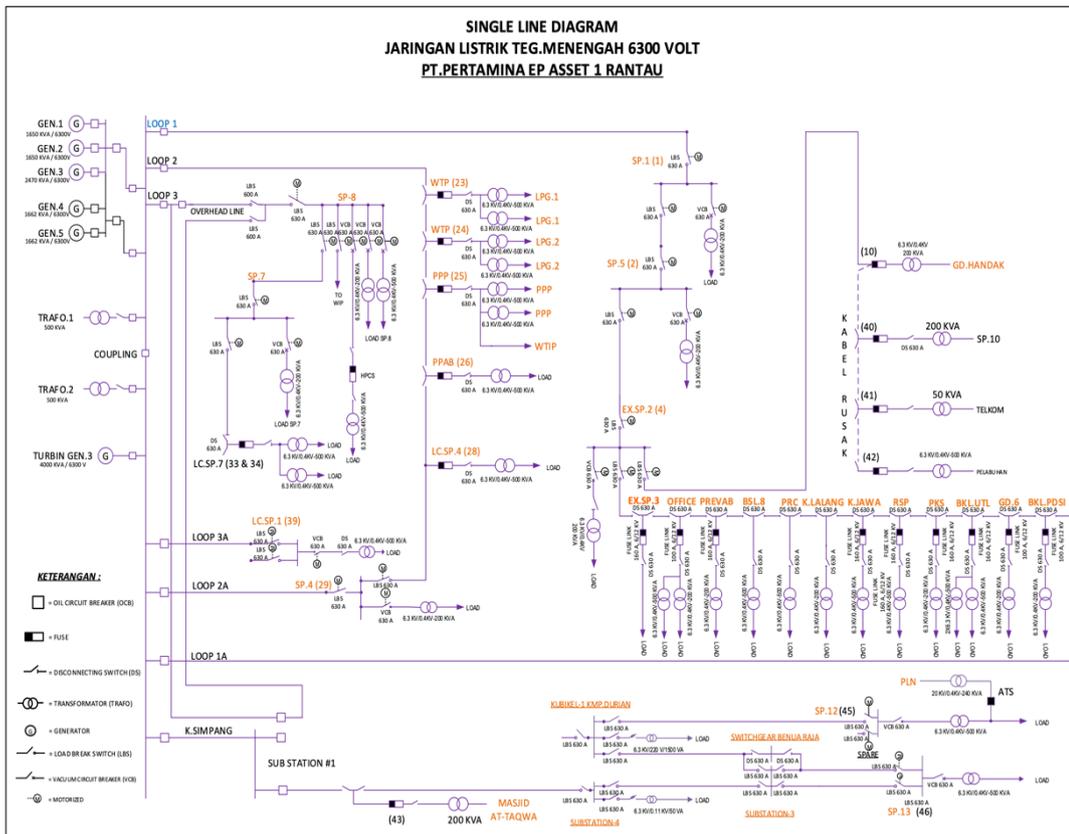
Gambar 2.8 menggambarkan diagram sistem jaringan gas yang menyuplai bahan bakar *power plant* Field Rantau.



Gambar 2.8 Diagram Jaringan Gas Rantau Field

### 3. Sistem Transmisi

Secara umum, sistem transmisi menggunakan sistem *loop* yang terdiri dari tujuh jalur dan terbentang ke tiga sektor aktif, yaitu sektor Rantau, Kuala Simpang, dan Seumentok. Pada masing-masing jalur, terdapat kubikel (*substation*), yaitu panel listrik yang terdiri dari *switchgear* tegangan menengah, transformer, dan *switchgear* tegangan rendah. Total kubikel yang tersebar di jaringan listrik Field Rantau adalah sejumlah 34 unit. Listrik yang dihasilkan dari *power plant* disalurkan melalui media kabel bawah tanah (*underground cable*) dan kabel atas (*overhead cable*) menuju beban-beban listrik Field Rantau. Gambar 2.9 menunjukkan *single line diagram* dari jaringan listrik Field Rantau.

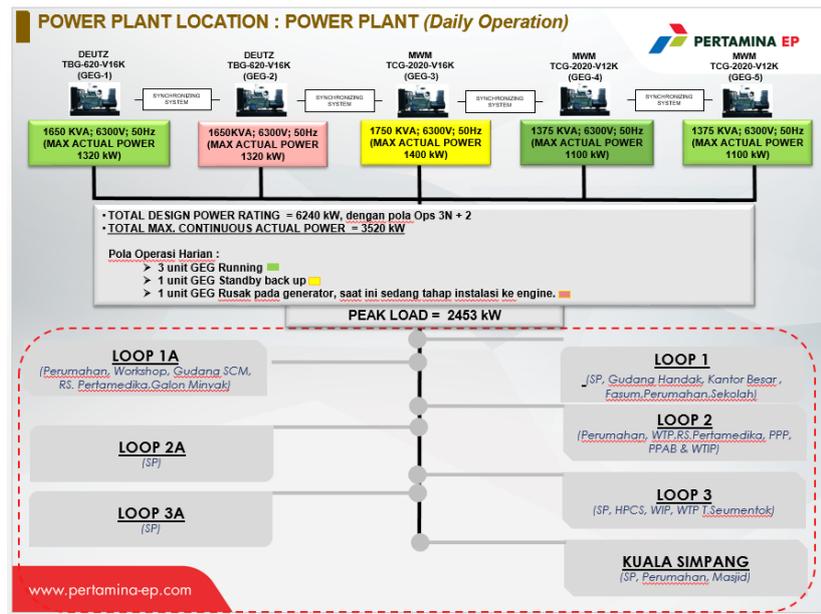


Gambar 2.9 Single Line Diagram Rantau Field

### 2.2.6.2 Peran dan Operasional Power Plant Field Rantau

Power Plant Field Rantau berperan membangkitkan tenaga listrik untuk selanjutnya disalurkan ke beban-beban listrik yang menggunakan listrik sebagai sumber energi dalam operasionalnya. Dari penjelasan yang dijabarkan pada bagian sebelumnya, *Power Plant* Field Rantau menyalurkan listrik ke beban-beban listrik melalui tujuh jalur *loop* sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.10.

Kapasitas total dari Power Plant Field Rantau adalah sebesar 6240 KW dengan pola operasi tiga *gas engine generator* operasi, dan dua *gas engine generator standby*, sehingga menghasilkan listrik aktual sebesar maksimum 3520 KW dalam operasional harian. Dari semua beban listrik yang dijabarkan pada Tabel 2.5, beban puncak mencapai 2453 KW.



Gambar 2.10 Infografis *Power Plant* Rantau Field

### 2.3 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian ini, telah dilakukan penelitian yang berkaitan dengan analisis resiko pada operasional suatu *plant*, yaitu Penelitian Manajemen Risiko Operasional *Onshore Processing Facility* dengan Menggunakan *Risk Failure Mode And Effect Analysis* Dan *Fault Tree Analysis* oleh Itsna Affandi Firdaus di Tahun 2017. Penelitian tersebut memiliki latar belakang yaitu masih sering terjadinya kegagalan operasi di Lapangan Pengeringan Gas *On Shore Processing Facility* PT. Pertamina ONWJ. Adapun tujuan penelitian adalah untuk menentukan risiko kritikal, penyebab risiko dan respon terhadap penanganan risiko kritikal. Penulis menggunakan metode RFMEA untuk mengelola 45 mode kegagalan yang teridentifikasi, dan kemudian menetapkan 5 mode kegagalan kritikal. Dengan FTA didapat penyebab dari masing-masing risiko kritikal, serta diakhir dibuatkan Risk Mitigation Plan dengan cara memodifikasi modul, memberikan training serta sosialisasi.

Selain itu, telah dilakukan juga beberapa penelitian lainnya untuk mengetahui risiko-risiko kritikal yang terdapat di *power plant*. Pada beberapa penelitian tersebut, didapati faktor-faktor risiko yang kemudian dibagi ke dalam

beberapa kategori yang nantinya akan dijadikan sebagai variabel risiko yang diteliti dan dianalisa lebih lanjut.

Penelitian terdahulu lainnya berkaitan dengan analisis risiko kecelakaan pada sistem *power plant* dilakukan oleh quan dan dou (2017). Penelitian tersebut berfokus pada pencarian risiko kritikal *gas power plant* berdasarkan kasus insiden Jing Feng Gas Power Plant. Analisa risiko dilakukan dengan menggunakan data statistik 10 tahun terakhir dari kejadian-kejadian kecelakaan *power plant* termasuk data dari kejadian Jing Feng Gas Power Plant dengan menggunakan metode *fuzzy analytic hierarchy process*. Penelitian ini mengidentifikasi beberapa risiko yang ada: faktor manusia (operasional), turbin gas, turbin uap, sistem gas, sistem listrik, *waste heat boiler*, faktor lingkungan seperti kebocoran gas dan emisi, dan faktor manajemen seperti kurangnya pelatihan staf, dengan faktor utama yang mempengaruhi adalah kecacatan peralatan, kurangnya *monitoring*, dan kesadaran orang akan keselamatan kerja. Dari metode *fuzzy analytic hierarchy process*, didapatkan hasil bahwa *gas system* merupakan faktor risiko kritikal di *gas power plant*.

Selain itu, terdapat penelitian berkaitan dengan risiko-risiko kritikal pada pembangkit listrik tenaga gas yang dilakukan oleh Alsaffar dan Ezzat (2020). Objek penelitian merupakan pemodelan sistem *gas power plant* dengan tipe *combined cycle* (umumnya terdiri dari *boiler*, *gas*, dan *steam turbines* dan sistem generator). Penelitian ini menggunakan *Hazard and Operability Procedure* (HAZOP), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Event Tree Analysis* (ETA), dan *Failure Mode, Effects and Cirticality Analysis* (FMECA) dalam menentukan risiko kritikal *power plant*. Risiko-risiko yang teridentifikasi adalah *fuel gas system*, *steam boiler*, *gas and steam turbines*, dan generator. Hasil dari penelitian yang dilakukan berupa daftar dari beberapa *initiating events* dari setiap kegagalan pada faktor-faktor risiko di atas yang dapat menyebabkan bahaya dan insiden besar beserta konsekuensi yang mengikuti *initiating events* tersebut.

Kemudian, terdapat penelitian yang dilakukan oleh Alrifayy dkk (2019). Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian untuk mengidentifikasi dan prioritisasi faktor-faktor risiko dari pembangkit listrik. Objek penelitian adalah sebuah *power plant* pada sebuah *oil and gas plant* yang berlokasi di Yemen.

Penelitian dilakukan dengan menggunakan kombinasi dari *modified linguistic FMEA* (LFMEA), *Analytic Network Process* (ANP), dan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL). Risiko yang teridentifikasi pada penelitian ini meliputi kesalahan operasional, sistem instrumentasi dan sistem kontrol, sistem listrik, sistem mekanikal, dan risiko eksternal terdiri dari degradasi material, kontaminasi pelumasan, dan kebocoran gas. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa kegagalan mekanik dan kebocoran gas pada sistem menghadirkan risiko yang lebih besar, yang secara kritical dapat mempengaruhi kegagalan sistem lainnya pada sistem pembangkit.

Dari beberapa penelitian terdahulu di atas, didapat beberapa faktor-faktor risiko yang menjadi variabel penelitian, yang disimpulkan di dalam Tabel 2.8.

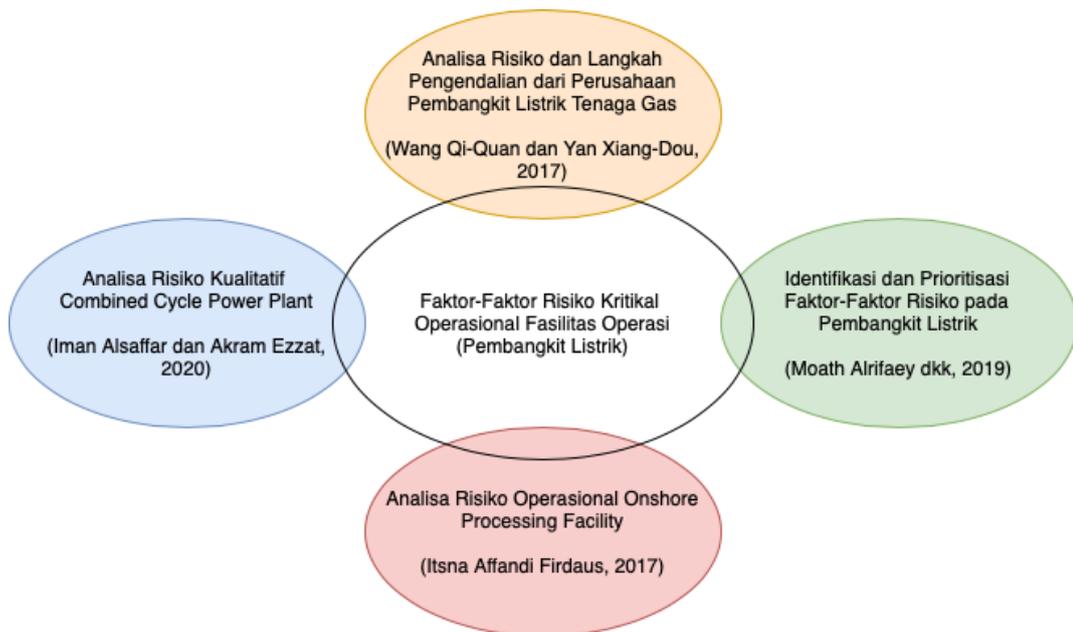
Tabel 2.8 Sintesa Variabel Risiko Power Plant Penelitian Terdahulu

Faktor Risiko Operasional	Penelitian		
	Wang Qi-Quan dan Yan Xiang-dou	Iman Alsaffar dan Akram Ezzat	Moath Alrifaey dkk
Kesalahan Operasional	v		v
Kurangnya Kesadaran Keselamatan Kerja	v		
Kegagalan Turbin Gas	v	v	v
Kegagalan Turbin Uap	v	v	v
Kegagalan Generator		v	v
Kegagalan Fuel Gas System	v	v	
Kegagalan Sistem Listrik	v		v
Anomali Sistem Monitoring	v		
Kebocoran Gas	v		v
Kurangnya Pelatihan Staf	v		
Kurangnya Pengawasan Pekerjaan	v		
Kegagalan Steam Boiler		v	
Kegagalan Instrumentasi			v
Kegagalan Kalibrasi			v
Kegagalan Sistem Kontrol			v
Degradasi Material			v
Kontaminasi Pelumas			v

## 2.4 Posisi Penelitian

Dari kajian pustaka tersebut diatas menunjukkan bahwa power plant adalah fase yang penting dalam keberlangsungan operasi perusahaan, sehingga perlu dilakukan analisis risiko pada operasional agar potensi terjadinya *down time* yang disebabkan kegagalan peralatan dan sistem dapat dihilangkan/dikurangi serta mencegah terjadinya *loss* produksi karena permasalahan di power plant.

Posisi penelitian ini adalah melakukan analisis risiko terhadap power plant dari sisi operasional power plant sebagai fasilitas yang menghasilkan energi listrik untuk fasilitas-fasilitas produksi minyak dan gas. Analisis dilakukan untuk mengetahui faktor risiko kritical yang ada, dampak yang ditimbulkan oleh risiko yang muncul, dan penentuan risk response yang tepat dari risiko kritical yang didapatkan. Fokus dari penelitian ini adalah risiko-risiko yang berpotensi memberikan dampak berupa kehilangan produksi dan penambahan biaya operasional perusahaan sebagai dampak dari permasalahan power plant. Gambaran posisi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Diagram Hubungan dan Posisi Penelitian terhadap Penelitian Terdahulu

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

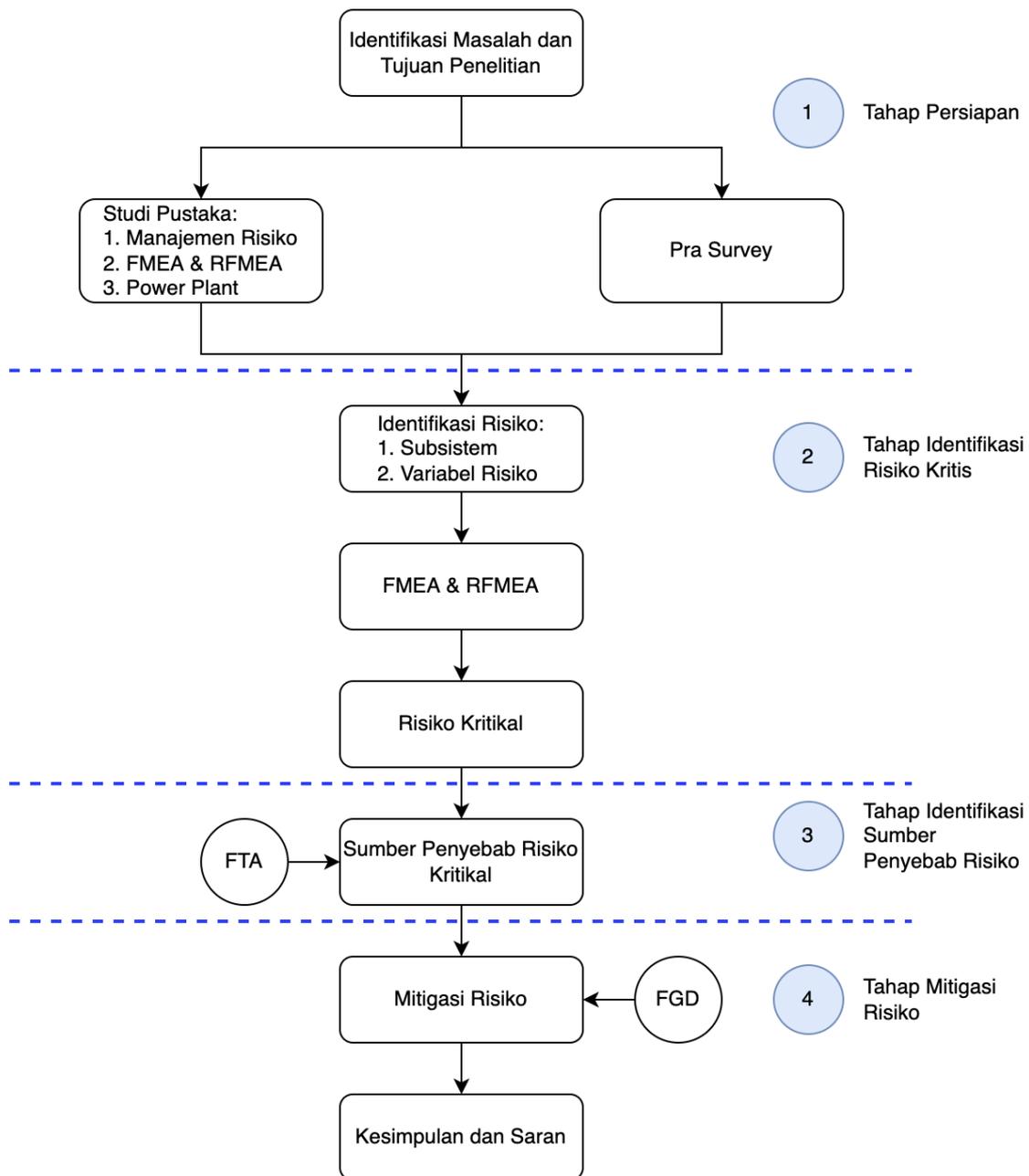
Metodologi ini merupakan tahapan/ langkah-langkah penelitian yang digunakan sebagai acuan penulis agar proses penelitian berjalan lebih sistematis, terstruktur dan terarah. Pada setiap tahapan metodologi dijelaskan konsep, tata cara dan pendekatan untuk mencapai tujuan-tujuan penelitian.

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksploratif. Arikunto (2010), mengemukakan penelitian eksploratif merupakan penelitian yang berusaha mencari tentang sebab-sebab terjadinya sesuatu, dan bertujuan untuk memetakan suatu objek secara relatif mendalam. Peneliti menggali informasi, menggambarkan risiko-risiko yang sedang atau dapat terjadi di Power Plant Field Rantau dan mencari mitigasi dari risiko-risiko kritikal pada fase operasional.

#### **3.2 Tahapan Penelitian**

Gambar 3.1 menunjukkan tahapan penelitian yang direncanakan.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

### 3.3 Tahap Persiapan

Tahap persiapan terdiri dari dua langkah utama, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah dan tujuan penelitian
2. Studi pustaka dan pra survey

Penjelasan dari masing-masing langkah pada tahap persiapan akan dijelaskan pada bagian ini.

### **3.3.1 Identifikasi Masalah dan Tujuan Penelitian**

Berdasarkan informasi yang disampaikan dalam pembahasan latar belakang pada bab sebelumnya berkaitan dengan peran vital *power plant* dalam sistem kelistrikan perusahaan, yaitu sebagai sumber energi penggerak pompa di sumur minyak, sumber energi penggerak pompa dan penerangan di tujuh Stasiun Pengumpul (SP), Water Treatment Injection Plant (WTIP), Water Injection Plant (WIP), High Pressure Compression Station (HPCS), serta fasilitas umum seperti perkantoran dan perumahan, maka penting bagi Penulis untuk menganalisa risiko operasional *power plant* dengan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Menentukan risiko kritikal dan level risiko
2. Mengidentifikasi penyebab risiko kritikal
3. Menentukan rencana mitigasi sebagai respons atas risiko kritikal

### **3.3.2 Studi Pustaka dan Pra Survey**

#### **3.3.2.1 Studi Pustaka**

Penelitian menggunakan metode *Risk Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA), yang merupakan modifikasi dari metode yang sudah umum dikenal sebelumnya, yaitu *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Dalam metode RFMEA, dilakukan pencarian dua komponen nilai, yaitu *Risk Priority Number* (RPN) dari hasil perkalian *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection*, dan *Risk Score* dari hasil perkalian *Likelihood* dan *Impact*. Nilai kritikal dari RPN dan *Risk Score* tersebut nantinya akan digunakan dalam menentukan risiko kritikal dari objek yang diteliti dan dinilai. Manfaat RFMEA mencakup peningkatan fokus pada risiko yang paling kritikal, memprioritaskan perencanaan kontingensi risiko, peningkatan partisipasi tim dalam proses manajemen risiko, dan pengembangan pengendalian risiko yang lebih baik (Carbone & Tippet, 2004).

Selain itu, metode RFMEA dipilih karena beberapa keuntungan, yaitu sebagai berikut (Carbone & Tippet, 2004):

1. Waktu yang dihabiskan untuk melakukan perencanaan pencegahan risiko di awal dapat dikurangi
2. RFMEA memberikan metode yang lebih baik kepada tim untuk perencanaan risiko yang dapat ditunda, sehingga dengan ini dapat memiliki waktu untuk fokus lebih banyak pada risiko kritis.
3. Dengan memikirkan *Detection*, anggota tim menghasilkan ide inovatif untuk mengidentifikasi gejala risiko dan dalam beberapa kasus menambahkan metode pendeteksian yang baru
4. Mengurangi tingkat frustrasi pada tim
5. Mendokumentasikan elemen-elemen risiko dan menentukan risiko kritical adalah sebuah pelajaran yang bisa dipelajari. Dengan menangkap risiko utama proyek secara menyeluruh, tim dapat menggunakan apa yang didapat untuk digunakan di proyek lain di masa depan.

### 3.3.2.2 Pra Survey

Pra survey dilakukan dengan mengumpulkan data. Data merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas hasil penelitian. Sumber data yang digunakan terdiri dari dua jenis data, yaitu sebagai berikut:

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang sumber informasinya langsung didapatkan dari objek penelitian. Pada penelitian kali ini, data didapatkan dari hasil diskusi dengan pihak sebagai berikut:

- a. Operator dan Pengawas Power Plant Rantau Field
- b. Pengawas dan Tim Maintenance Mechanical Rantau Field
- c. Pengawas dan Tim Maintenance Electrical Rantau Field

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang sumber informasinya didapat dari orang lain atau lewat dokumen. Pada penelitian kali ini, data sekunder didapat dari dokumen-dokumen sebagai berikut:

- a. Laporan Harian Power Plant Rantau Field tahun 2018 – 2021
- b. Kontrak Pekerjaan Mechanical Rantau Field tahun 2018 – 2021

- c. Kontrak Pekerjaan Electrical Rantau Field tahun 2018 – 2021
- d. Laporan Penggunaan Generator Power Plant Rantau Field tahun 2018 – 2021
- e. Laporan Harian Produksi periode tahun 2018 – 2021

Pada data laporan harian, secara rinci tercantum kegagalan operasional dan durasi kerusakan peralatan/jaringan. Dari laporan penggunaan generator, laporan harian produksi, kontrak pekerjaan *mechanical* dan *electrical*, *impact* dari kegagalan dikuantifikasi dalam bentuk nilai kehilangan produksi, biaya, penggunaan solar, biaya perbaikan peralatan/pembelian *spare parts*, dan biaya jasa perbaikan peralatan.

### **3.4 Tahap Identifikasi Risiko Kritis**

Tahap identifikasi risiko kritis terdiri dari tiga langkah utama, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi Risiko
2. FMEA dan RFMEA
3. Analisa Risiko Kritis

Penjelasan dari masing-masing langkah pada tahap identifikasi risiko akan dijelaskan pada bagian ini.

#### **3.4.1 Identifikasi Risiko**

Dalam proses identifikasi risiko, informasi yang dikumpulkan antara lain mencakup hal berikut:

1. Sumber risiko, kondisi lingkungan dan perilaku *stakeholder* yang dapat memicu timbulnya risiko
2. Kejadian risiko, peristiwa yang dapat terjadi karena dipicu oleh sumber risiko tertentu dan berdampak pada pencapaian sasaran
3. Konsekuensi, dampak terjadinya kejadian risiko terhadap sasaran yang hendak dicapai
4. Pengendalian, mekanisme kontrol internal berupa kebijakan dan prosedur tetap serta tindakan lain yang bersifat mengendalikan keterjadian risiko

5. Perkiraan kapan risiko terjadi dan di mana risiko itu dapat terjadi

Dalam penelitian ini, identifikasi risiko dilakukan melalui dokumen-dokumen dan riwayat operasional power plant yang dimiliki perusahaan dalam periode 2018 – 2021, khususnya data yang berkaitan dengan riwayat kegagalan operasional dan dampak dari kegagalan operasional tersebut terhadap perusahaan (dampak kehilangan produksi, biaya bahan bakar mesin pengganti, biaya perbaikan, dan *spare parts*). Dari data-data yang didapatkan melalui dokumen perusahaan tersebut, risiko-risiko di *power plant* yang teridentifikasi selanjutnya akan menjadi variabel risiko untuk kemudian diolah lebih lanjut dalam proses pencarian risiko kritical dengan metode RFMEA.

Berdasarkan kajian literatur dari penelitian-penelitian terdahulu yang telah dijelaskan pada Bab 2, didapatkan beberapa variabel kegagalan yang biasa ditemui dalam operasional *power plant*. Sintesa variabel risiko berdasarkan penelitian sebelumnya dikelompokkan ke dalam sub-sistem *power plant* dan merupakan risiko yang bersifat teknis. Tabel 3.1 menunjukkan subsistem *power plant* dan variabel risiko yang dikelompokkan berdasarkan subsistem *power plant*.

Tabel 3.1 Variabel Risiko Kegagalan *Power Plant* Berdasarkan Penelitian Terdahulu

No	Sub Sistem	Variabel Kerusakan	Referensi
1	Piping	Kegagalan Fuel Gas System	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wang Qi-Quan dan Yan Xiang-dou (2017)</li> <li>• Iman Alsaffar dan Akram Ezzat (2020)</li> </ul>
		Kebocoran Gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wang Qi-Quan dan Yan Xiang-dou (2017)</li> <li>• Moath Alrifaey dkk (2019)</li> </ul>
2	Instrument	Kegagalan Instrumentasi	Moath Alrifaey dkk (2019)
3	Generator	Kegagalan Generator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Moath Alfrey dkk (2019)</li> <li>• Iman Alsaffar dan Akram Ezzat (2020)</li> </ul>
4	Engine Prime Mover	Kontaminasi Pelumas	Moath Alrifaey dkk (2019)
5	Cable/Panel	Kegagalan Sistem Listrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wang Qi-Quan dan Yan Xiang-dou (2017)</li> <li>• Moath Alrifaey dkk (2019)</li> </ul>

6	Genset Control Panel	Anomali Sistem Monitoring	Wang Qi-Quan dan Yan Xiang-dou (2017)
		Kegagalan Sistem Kontrol	Moath Alrifaey dkk (2019)

Variabel-variabel risiko yang didapatkan dari hasil kajian literatur penelitian terdahulu di atas akan menjadi salah satu dasar sintesa variabel risiko *power plant* yang akan digunakan di dalam penelitian ini di samping variabel-variabel risiko lainnya yang akan diambil dari data sekunder yang ada di Rantau Field (dengan penyesuaian redaksi penyampaian variabel risiko).

### 3.4.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Pada tahap ini, dilakukan pemberian tiga nilai yang diperlukan dalam metode FMEA, yaitu sebagai berikut:

1. *Likelihood*, nilai didapat berdasarkan frekuensi kejadian suatu mode kegagalan.
2. *Impact*, nilai didapat berdasarkan dampak dari suatu mode kegagalan.
3. *Detection*, nilai didapat berdasarkan tingkat kemudahan mendeteksi suatu mode kegagalan akan terjadi.

Berdasarkan konsep dari metode FMEA dan RFMEA, dalam menentukan risiko kritis, diperlukan nilai *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection*. Tiga nilai tersebut nantinya akan berperan dalam perhitungan nilai kritis RPN (untuk FMEA) dan nilai kritis *Risk Score* (untuk RFMEA).

Penentuan nilai *Likelihood* dan *Impact* didasarkan pada Tabel Skala *Likelihood* dan Tabel Skala *Impact* yang diadaptasi dari Pedoman Manajemen Risiko PT. Pertamina EP No. A-003/A2/EP0200/2019-S9. Tabel 3.2 menunjukkan tabel skala *Likelihood*. Tabel 3.3 menunjukkan tabel skala *Impact*.

Tabel 3.2 Skala *Likelihood*

Skala	Kategori <i>Likelihood</i>	Deskripsi	Rentang
1	<i>Rare</i>	Tidak Mungkin Terjadi	$0 < x \leq 20\%$
2	<i>Unlikely</i>	Jarang Terjadi	$20 < x \leq 40\%$

3	<i>Moderate</i>	Bisa Terjadi	$40 < x \leq 60\%$
4	<i>Likely</i>	Sangat Mungkin Terjadi	$60 < x \leq 80\%$
5	<i>Almost Certain</i>	Hampir Pasti Terjadi	$80 < x \leq 100\%$

Tabel 3.3 Skala *Impact*

Skala	Kategori <i>Impact</i>	Deskripsi	Nilai <i>Impact</i> (US\$ 000)
1	<i>Insignificant</i>	Sangat Kecil	$n \leq 20\% \times \text{Risk Limit}$
2	<i>Minor</i>	Kecil	$20\% \times \text{Risk Limit} < n \leq 40\% \times \text{Risk Limit}$
3	<i>Moderate</i>	Sedang	$40\% \times \text{Risk Limit} < n \leq 60\% \times \text{Risk Limit}$
4	<i>Significant</i>	Besar	$60\% \times \text{Risk Limit} < n \leq 80\% \times \text{Risk Limit}$
5	<i>Catastrophic</i>	Sangat Besar	$80\% \times \text{Risk Limit} < n \leq 100\% \times \text{Risk Limit}$

Dalam penelitian ini, mode kegagalan yang sebelumnya sudah diidentifikasi pada tahap identifikasi risiko, akan berperan sebagai *risk event*. Menurut Danung Isdarto (2014), nilai *Likelihood* ditentukan berdasarkan probabilitas kegagalan yang terjadi dengan menggunakan prinsip probabilitas dengan rumus sebagai berikut:

$$p(A) = \frac{m_A}{n}$$

dengan:

$p(A)$  = Probabilitas kegagalan A terjadi

$m_A$  = Jumlah hasil peristiwa A

$n$  = Jumlah hasil seluruh peristiwa

Nilai dari  $p(A)$  nantinya akan menjadi komponen “x” pada Tabel 3.1 sebagai referensi dalam menentukan nilai dari *Likelihood*.

Selama *power plant* mengalami kendala, sebagaimana yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, akan ada dampak yang terjadi dari kegagalan operasional tersebut. Dampak yang didapat dari data-data dan dokumen yang telah

dikumpulkan selanjutnya dikonversikan ke dalam bentuk yang dapat dikuantifikasikan. Dalam penelitian ini, dampak dikonversikan ke dalam bentuk US\$ yang nantinya akan digunakan dalam menentukan nilai *Impact* sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Pada penelitian ini, terdapat tiga jenis biaya yang akan menjadi komponen biaya dalam perhitungan nilai *Impact*, yaitu sebagai berikut:

1. Biaya bahan bakar solar, biaya yang terpakai untuk operasi unit genset pengganti selama *power plant* tidak beroperasi.
2. Biaya *maintenance*, biaya perbaikan yang muncul selama terjadi kegagalan untuk mengembalikan operasional *power plant* seperti semula, terdiri dari biaya tenaga kerja dan material. Nilai ini didapat dari kontrak material dan tenaga kerja yang dimiliki perusahaan.
3. Biaya hilang produksi, yang didapat dengan persamaan berikut:

$$\text{Biaya Hilang Produksi (US\$)} = LPO \times ICP$$

dengan:

LPO = *Lost Production Opportunity* (barrel)

ICP = Indonesian Crude Price (US\$/barrel)

Kemudian untuk nilai *Detection*, akan dicari dengan metode wawancara, diskusi, dan pembagian kuesioner kepada responden terpercaya yang terkait dengan operasional *power plant* dan Tim *Maintenance Field Rantau*. Kriteria nilai *Detection* ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Skala *Detection*

Guidelines	Nilai
Tidak ada metode deteksi yang tersedia atau diketahui yang dapat menyediakan peringatan dengan waktu yang memadai untuk membuat rencana mitigasi	5
Metode deteksi belum terbukti dan tidak bisa diandalkan; atau efektivitas dari metode deteksi tidak dapat diketahui untuk mendeteksi risiko tepat waktu	4
Metode deteksi memiliki efektivitas sedang	3
Metode deteksi memiliki efektivitas yang cukup tinggi	2

Metode deteksi memiliki efektivitas yang tinggi dan hampir pasti risiko terdeteksi dalam waktu yang cukup	1
---	---

Sumber: Carbone & Tippet, 2004

Dalam pemberian nilai, data-data diambil dengan metode sebagai berikut:

1. Data di lapangan, khususnya data berkaitan dengan riwayat kegagalan operasional *power plant* dan dampak dari kegagalan operasional tersebut.
2. *Focus group discussion*, dengan melakukan diskusi untuk penentuan *rating* oleh Tim Operasional dan Tim *Maintenance* yang memiliki jabatan struktural dan operasional di *power plant*. Selain itu, beberapa kriteria yang harus dipenuhi untuk menjadi narasumber adalah sebagai berikut:
  - a. Berpengalaman di kedua bidang tersebut selama lebih dari 3 tahun
  - b. Dalam melaksanakan penilaian setidaknya terdapat 3-4 orang yang melakukan diskusi
  - c. Tingkat Pendidikan dan kompetensi yang sesuai dengan operasional *power plant*

Kriteria di atas diterapkan untuk mendapatkan hasil penilaian yang objektif serta analisa yang mendalam, sehingga menjadikan hasil dari FGD ini bisa dipertanggungjawabkan. Pihak yang menjalankan FGD dijabarkan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Daftar Peserta FGD Pemberian Nilai

No	Jabatan Struktural	Divisi/Perusahaan
1	Utilities Operation Senior Supervisor	RAM/Pertamina
2	Electrical & Instrument Supervisor	RAM/Pertamina
3	Mechanical Senior Supervisor	RAM/Pertamina
4	Electrical Senior Technician	RAM/Pertamina
5	Power Plant Senior Operator	RAM/Pertamina
6	Mechanical Rotary Senior Technician	RAM/Pertamina

3. Wawancara, dengan memberikan serangkaian pertanyaan kepada beberapa responden yang terpercaya untuk mendapatkan nilai deteksi. Adapun narasumber atau responden dalam penelitian ini adalah Power Plant Senior Operator dan operator yang setiap harinya menjalankan fungsi pengamatan dan operasional *power plant* sehingga sesuai dan relevan dengan topik penelitian ini. Dari segi pengalaman kerja yang dimiliki selama lebih dari 10 tahun diharapkan data yang didapatkan bisa dipercaya dan dipertanggungjawabkan.

Untuk metode FMEA, dilakukan pencarian nilai *Risk Priority Number* (RPN) sebelum kemudian dilakukan pencarian nilai kritis dari RPN tersebut. RPN yang merupakan hasil perkalian antara *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection* akan dianalisa dengan menggunakan diagram Pareto. Dari proses analisa tersebut, akan didapatkan nilai kritikal RPN. Penentuan risiko kritikal pada metode FMEA adalah dengan menentukan risiko yang memiliki nilai RPN yang lebih tinggi dari nilai kritis RPN yang didapatkan sebagaimana dijelaskan pada penelitian Itsna Firdaus (2017).

Untuk metode RFMEA, dilakukan analisa risiko dengan terlebih dahulu mencari nilai *Risk Priority Number* (RPN) dan *Risk Score* sebelum nantinya nilai-nilai tersebut dianalisa lebih jauh dengan menggunakan *scatter plot*. Nilai RPN telah didapatkan dari metode FMEA yang dilakukan sebelumnya. *Risk Score* yang merupakan hasil perkalian antara *Likelihood* dan *Impact* akan dianalisa juga dengan menggunakan diagram Pareto seperti proses FMEA terhadap nilai RPN. Dari proses analisa tersebut, akan didapatkan nilai kritikal *Risk Score*.

Nilai kritikal RPN dan *Risk Score* yang didapatkan akan menjadi komponen utama dalam menentukan risiko kritikal *power plant* dengan menggunakan *scatter plot*. Dari *scatter plot*, akan didapatkan *intersection* antara RPN dan *Risk Score* yang sudah dikonversikan ke dalam *scatter plot* yang kemudian akan menjadi risiko-risiko kritikal yang ada di *power plant*.

#### **3.4.2.1 Risk Priority Number (RPN)**

Sebagaimana metode FMEA pada umumnya, nilai RPN didapat dari 3 komponen nilai, yaitu *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection*. Nilai RPN didapatkan dengan rumus sebagai berikut:

$$RPN = Likelihood \times Impact \times Detection$$

Dari hasil RPN yang didapatkan, kemudian dilakukan pemberian ranking berdasarkan nilai RPN untuk menentukan risiko kritical dari beragam risiko yang didapatkan. Pemberian ranking dari hasil RPN akan dilakukan secara sederhana mengikuti penelitian yang dilakukan oleh Lipol & Haq tahun 2011. Pada penelitian tersebut, diberikan contoh kasus empat nilai RPN yang sama pada risiko yang akan di-ranking, dan penentuan ranking dilakukan dengan mempertimbangkan nilai *Impact* terlebih dahulu, kemudian diikuti dengan *Likelihood*. Pada penelitian ini, penentuan risiko kritical ditentukan berdasarkan nilai kritis dari RPN yang didapat dengan rumus nilai kritis RPN sebagaimana dijelaskan oleh Itsna Firdaus (2017) sebagai berikut:

$$RPN \text{ Critical Value} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}}$$

Risiko yang terkategori risiko kritical adalah risiko yang memiliki nilai RPN di atas nilai kritis dari RPN yang didapat menggunakan rumus di atas.

### **3.4.3 Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA)**

Pada metode RFMEA, selain menggunakan nilai RPN yang telah didapatkan pada metode FMEA sebelumnya, diperlukan pencarian nilai *Risk Score* sebelum nantinya dilakukan analisa lebih lanjut risiko yang didapat dengan *scatter plot* memanfaatkan nilai RPN dan *Risk Score* yang didapat.

#### **3.4.3.1 Nilai Risiko (*Risk Score*)**

Dalam manajemen risiko, diperlukan penentuan level risiko dari variabel risiko yang ada untuk menentukan prioritas. Pada penelitian ini, dilakukan penentuan level risiko untuk mengetahui kategori variabel risiko dan juga mengetahui terjadinya perubahan level risiko setelah dilakukan penanganan variabel risiko, sehingga dapat diketahui efektivitas dari tindakan yang dilakukan

terhadap risiko yang ada. Nilai risiko (*risk score*) didapat dengan rumus sebagai berikut:

$$Risk\ Score = Likelihood \times Impact$$

Dalam menentukan kategori level risiko, digunakan matriks risiko yang didapat dari Pedoman Manajemen Risiko No. A-003/A2/EP0200/2019-S9 Revisi 1 PT. Pertamina EP sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Matriks Risiko

<b>PROBABILITAS</b>	5	5	10	15	20	25
	4	4	8	12	18	20
	3	3	6	9	12	15
	2	2	4	5	8	10
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
		<b>DAMPAK</b>				

Keterangan:

Nilai Probabilitas	Keterangan
1	Hampir Tidak Mungkin Terjadi
2	Jarang Terjadi
3	Bisa Terjadi
4	Sangat Mungkin Terjadi
5	Hampir Pasti Terjadi

Nilai Dampak	Keterangan
1	Sangat Kecil
2	Kecil

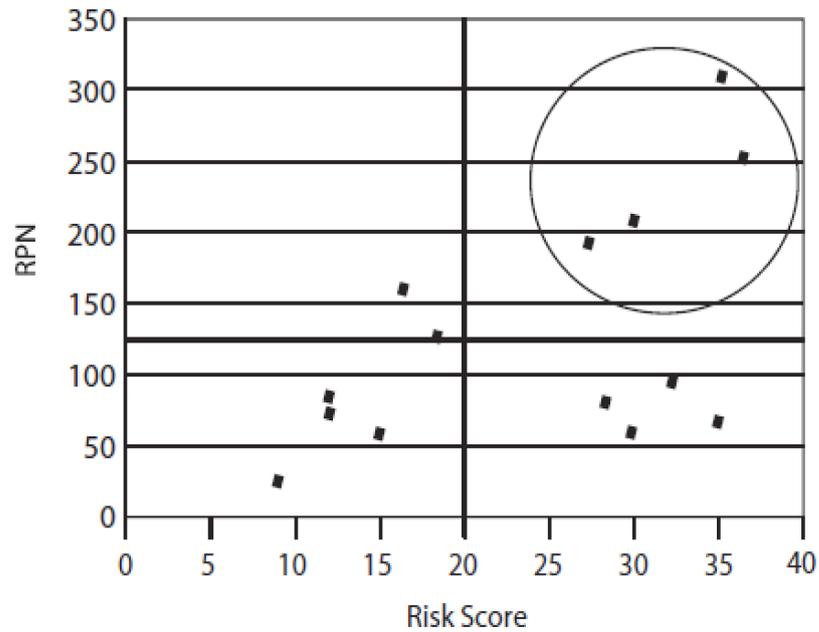
3	Sedang
4	Besar
5	Sangat Besar

1-3	Low Risk
4	Low to Moderate Risk
5-9	Moderate Risk
10-12	Moderate to High Risk
15-25	High Risk

Metode ini diharapkan dapat menentukan risiko kritical dari berbagai macam variabel risiko yang ada, karena tujuan dari penggunaan metode RFMEA adalah mitigasi dari risiko kritical yang didapatkan.

#### 3.4.3.2 Scatter Plot (RPN vs Risk Score)

Penggunaan *scatter plot* merupakan metode inti yang digunakan pada analisa menggunakan metode RFMEA untuk menentukan risiko kritical. Sebagaimana metode RFMEA yang digunakan oleh Carbone & Tippet (2004), langkah berikutnya dalam menentukan risiko kritical dari beragam risiko yang menjadi objek penilaian adalah dengan mencari *intersection* antara RPN dan *Risk Score* dengan menggunakan bantuan *scatter plot*. Gambar 3.2 menggambarkan contoh dari *scatter plot* yang digunakan dalam penelitian oleh Carbone dan Tippet (2004).



Gambar 3.2 Ilustrasi *Scatter Plot*

Dalam menentukan titik kritis (nilai kritikal) untuk batasan yang dijadikan patokan risiko termasuk kategori kritikal (menentukan garis kritis batas kuadran kategori risiko) seperti diagram di atas, metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Untuk nilai kritikal *Risk Score*, mengacu pada batasan kategori *high risk* sebagaimana yang ditunjukkan pada matriks risiko di Tabel 3.6, untuk penelitian ini nilai kritikal *Risk Score* adalah 15.
2. Untuk nilai kritikal RPN, menurut Itsna Firdaus (2017), dapat ditentukan berdasarkan rata-rata nilai RPN terhadap jumlah risiko yang didapat, dengan rumus sebagai berikut:

$$RPN \text{ Critical Value} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}}$$

Proses menentukan tindakan penanganan atas suatu risiko bukan hal yang sederhana. Diperlukan diskusi dan penggalian data yang mendalam sehingga dengan penggunaan *scatter plot* dapat membantu Tim Manajemen Risiko dalam mempersempit jumlah risiko kritikal.

### 3.5 Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko

Setelah diketahui risiko-risiko kritikal, risiko-risiko tersebut kemudian dicari penyebabnya dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA merupakan sebuah model grafis yang terdiri dari beberapa kombinasi kesalahan (*fault*) secara paralel dan secara berurutan yang mungkin menjadi awal dari *failure event* yang sudah ditetapkan.

Pada FTA yang dibuat, ditetapkan masing-masing risiko kritis sebagai *top event*. Pada akhirnya akan diperoleh *basic event* yang merupakan penyebab terjadinya *top event* (risiko kritis), sehingga langkah-langkah yang tepat dapat diambil untuk mencegah terjadinya risiko kritis tersebut (*risk prevention*). *Basic event* yang diperoleh telah memperhitungkan penyebab permasalahan dari berbagai sisi (personil, metode, mesin, dan lainnya). Kombinasi sumber penyebab kegagalan sistem (*top event*) akan diidentifikasi menggunakan *Method to Obtain Minimal Cut Set* (MOCUS).

*Method to Obtain Minimal Cut Set* (MOCUS) merupakan sebuah metode yang dikembangkan oleh Fussell dan Vesely (1972) dalam menentukan *minimum cut set* dari *Fault Tree Analysis* (FTA) secara *top-down*. *Cut set* adalah salah satu produk kunci dalam FTA yang mengidentifikasi kegagalan komponen atau *event* yang dapat menyebabkan *top event* terjadi.

Berdasarkan tulisan yang dikemukakan oleh Akinode (2017), secara umum algoritma yang dapat diimplementasikan dalam mencari *minimum cut sets* dengan metode MOCUS adalah sebagai berikut:

1. Memberikan label pada setiap *gates* dan *events*
2. Membuat matriks 2 dimensi terdiri dari baris dan kolom
3. Menempatkan *top event* pada baris pertama dan kolom pertama dari *array*
4. Melakukan substitusi pada *top event* dengan *intermediate/basic event* di bawahnya (yang dipisahkan oleh *gate*) dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. Jika *gate* adalah AND, letakkan substitusi event pada baris yang sama di kolom berikutnya

- b. Jika *gate* adalah OR, letakkan substitusi *event* pada baris yang berbeda di kolom berikutnya
5. Melakukan pengulangan (iterasi) pada langkah 4 hingga tidak ada lagi *gate* atau *events* pada FTA hingga didapat seluruh *list* dari *cut sets*
6. Menghilangkan non-minimal *cut sets* dengan menggunakan *Boolean algebra*

*Boolean algebra* yang digunakan dalam menyederhakan *cut set* adalah sebagai berikut:

- a. Hukum Komutatif

$$A \cdot B = B \cdot A$$

$$A + B = B + A$$

- b. Hukum Asosiatif

$$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$$

$$A + (B + C) = (A + B) + C$$

- c. Hukum Distributif

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$$

$$A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$$

- d. Hukum Idempotent

$$A \cdot A = A$$

$$A + A = A$$

- e. Hukum Absorbsi

$$A \cdot (A + B) = A$$

$$A + A \cdot B = A$$

### 3.6 Tahap Mitigasi Risiko

Setelah didapatkan akar risiko tersebut, dilakukan pencarian dan penyusunan rencana mitigasi sebagai *risk response plan* atas risiko kritikal tersebut. Strategi yang didapat diharapkan bisa mengurangi terjadinya kegagalan operasional atau mengurangi dampak atas kegagalan tersebut. Penyusunan *risk response plan* dilaksanakan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) yang diikuti oleh pemegang

jabatan structural dan operasional di *power plant* Rantau Field, serta dari pihak PT. Trakindo Utama yang melaksanakan pemeliharaan *generator set*.

Tabel 3.7 Daftar Peserta FGD Penyusunan *Risk Response Plan*

No	Jabatan Struktural	Divisi/Perusahaan
1	Utilities Operation Senior Supervisor	RAM/Pertamina
2	Electrical & Instrument Supervisor	RAM/Pertamina
3	Mechanical Senior Supervisor	RAM/Pertamina
4	Electrical Senior Technician	RAM/Pertamina
5	Power Plant Senior Operator	RAM/Pertamina
6	Mechanical Rotary Senior Technician	RAM/Pertamina
7	Maintenance Supervisor	Maintenance/ Trakindo Utama

Penyusunan respons terhadap risiko dilakukan dengan melihat level risiko, ketersediaan anggaran, visibilitas pekerjaan, serta harus disetujui oleh seluruh pihak yang terlibat dalam operasional pekerjaan. Terdapat empat penanganan yang dapat dilakukan organisasi untuk menghadapi risiko pada proyek sebagaimana dikutip dari Leo dan Victor (2018, yaitu sebagai berikut:

1. Menghindari Risiko (*Risk Avoidance*)

Tidak melaksanakan atau meneruskan kegiatan yang menimbulkan risiko tersebut

2. Berbagi Risiko (*Risk Sharing/Transfer*)

Tindakan untuk mengurangi timbulnya risiko atau dampak risiko. Hal ini dilaksanakan antara lain melalui asuransi, *outsourcing*, *subcontracting*, tindak lindung transaksi nilai mata uang asing, dan lain-lain.

3. Mitigasi Risiko (*Risk Mitigation*)

Melakukan perlakuan risiko untuk mengurangi kemungkinan timbulnya risiko atau mengurangi dampak risiko bila terjadi, atau mengurangi keduanya (kemungkinan dan dampak). Perlakuan ini sebetulnya adalah bagian dari kegiatan organisasi sehari-hari.

4. Menerima Risiko (*Risk Acceptance*)

Tidak melakukan perlakuan apapun terhadap risiko tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 4**

### **ANALISA DATA**

Pada bagian ini, akan dibahas analisis pengolahan data yang telah didapat dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), *Risk Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA), dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Hasil dari pengolahan data tersebut akan dijadikan dasar dalam menentukan langkah-langkah penanganan risiko kritikal di Power Plant Rantau.

#### **4.1 Tahap Pendahuluan**

Pada tahap ini, dilakukan pengumpulan data dan dokumen terkait dengan *power plant* untuk kemudian diolah. Sebagaimana dijelaskan pada Bab 3, penelitian ini mengambil sumber data sebagai berikut:

##### 1. Data Primer

Data primer merupakan data yang sumber informasinya langsung didapatkan dari objek penelitian. Pada penelitian kali ini, data didapatkan dari hasil diskusi dengan pihak sebagai berikut:

- a. Operator dan Pengawas Power Plant Rantau Field
- b. Pengawas dan Tim Maintenance Mechanical Rantau Field
- c. Pengawas dan Tim Maintenance Electrical Rantau Field

##### 2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang sumber informasinya didapat dari orang lain atau lewat dokumen. Pada penelitian kali ini, data sekunder didapat dari dokumen-dokumen sebagai berikut:

- a. Laporan Harian *Power Plant* Rantau Field tahun 2018 – 2021
- b. Kontrak Pekerjaan *Mechanical* Rantau Field tahun 2018 – 2021
- c. Kontrak Pekerjaan *Electrical* Rantau Field tahun 2018 – 2021
- d. Laporan Harian Produksi tahun 2018 – 2021
- e. Laporan *Maintenance Power Plant* Rantau Field Tahun 2018 - 2021

Pada data laporan harian, secara rinci tercantum kegagalan operasional dan durasi kerusakan peralatan/jaringan. Dari laporan harian *power plant*, laporan *maintenance power plant*, laporan harian produksi, kontrak pekerjaan *mechanical* dan *electrical, impact* dari kegagalan dikuantifikasi dalam bentuk nilai kehilangan produksi, biaya, penggunaan solar, biaya perbaikan peralatan/pembelian *spare parts*, dan biaya jasa perbaikan peralatan.

## 4.2 Tahap Identifikasi Risiko Kritis

Sebagaimana dijelaskan pada Bab 3, tahap identifikasi risiko kritis terbagi ke dalam tiga langkah utama, yaitu sebagai berikut:

1. Identifikasi Risiko
2. FMEA dan RFMEA
3. Penentuan Risiko Kritis

### 4.2.1 Identifikasi Risiko

Dari data sekunder yang bersumber dari Rantau Field dan juga sintesa variabel dari penelitian terdahulu mengenai *power plant* yang menyesuaikan dengan objek penelitian, didapatkan 27 mode kegagalan operasional pada *power plant* Rantau Field. Kemudian dari hasil pengolahan data sekunder juga didapatkan nilai-nilai yang diperlukan untuk proses pengolahan data penelitian, di antaranya adalah jumlah kejadian, kerugian, dan durasi kegagalan. Tabel 4.1 menunjukkan pengelompokan kategori kegagalan dengan nilai-nilai yang telah disebutkan di atas.

Tabel 4.1 Data Variabel Kegagalan *Power Plant* Rantau Field

Kategori	Kode	Variabel Kegagalan	Jumlah Kejadian	Rata-Rata Durasi (Jam)	Total Kerugian (IDR)
Piping	V01	Fuel Gas Piping Problem	5	3,57	86.040.940

Gas Compressor	V02	Gas Compressor Problem	2	6,08	18.170.679
Gas Mixer	V03	Regulator Problem	1	1,08	440.123
Generator	V04	Generator Bearing Problem	3	2,92	100.499.046
	V05	Unstable Power Factor (Cos Phi)	1	0,68	295.117
	V06	Combustion Chamber Problem	35	1,62	227.980.039
	V07	Compensator Leakage	5	1,50	70.604.515
	V08	Failed to Start	9	2,68	100.102.312
	V09	High Temperature Pump Broken	10	3,37	52.300.897
	V10	Water Jacket Problem	5	2,55	5.284.773
	V11	Ignition System Problem	3	3,00	99.430.673
	V12	Lubrication System Problem	4	3,70	1.183.693.778
	V13	Oil Pressure Problem	2	1,00	37.070.226
	V14	Broken Sensor	3	2,90	17.814.595
	V15	Water Cooling System Leakage	5	3,47	89.639.009
	V16	Overload	2	0,46	395.889

	V17	Engine Overspeed	1	1,25	501.726
Panel Control	V18	Bad Cable Connection	2	3,50	5.751.131
	V19	Broken Breaker	2	6,50	5.892.766
Kabel/Panel	V20	Human Error	9	6,41	135.793.965
	V21	Degradation of Cable Integrity	7	5,18	79.645.706
	V22	Cable Replacement (Line Maneuver)	1	7,75	15.156.288
	V23	Broken Cable Connector	1	4,00	16.336.332
	V24	Ground Fault Trip	11	4,74	161.588.352
	V25	Cable Short (MV)	9	10,70	364.295.557
Transformer	V26	Transformer Problem	1	2,00	814.526
Protection	V27	VCB Problem	1	3,00	14.181.789

Dari Tabel 4.1 di atas, diperoleh total kerugian akibat risiko-risiko yang teridentifikasi di Power Plant Rantau sejak tahun 2018 – 2021 sebesar IDR 2.889.720.749.

#### 4.2.2 Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Langkah berikutnya yang dilakukan adalah menganalisis data yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (RFMEA). Analisis FMEA yang akan dilakukan terdiri dari beberapa langkah, yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan *Rating*
2. Perhitungan Nilai *Risk Priority Number* (RPN)
3. Penentuan Risiko Kritis Berdasarkan RPN

#### 4.2.2.1 Penentuan Rating

Langkah pertama dalam analisis RFMEA yang dilakukan setelah memperoleh variabel kegagalan yang ditemukan di Power Plant Rantau adalah penentuan beberapa nilai, yaitu *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection*. Nilai-nilai yang disebutkan di atas akan menjadi komponen penting dalam pengolahan data untuk menentukan risiko kritical dari variabel risiko yang ada. Sebagaimana yang dijelaskan di bab sebelumnya, dalam penentuan nilai *Likelihood* dan *Impact*, penelitian ini melakukan adaptasi dari Pedoman Manajemen Risiko PT. Pertamina EP No. A-003/A2/EP0200/2019-S9. Namun karena ketidaksesuaian parameter penentuan skala yang digunakan pada TKI dengan kondisi objek yang sedang diteliti, maka dilakukan modifikasi acuan nilai yang digunakan.

Penentuan nilai *Likelihood* didasarkan pada frekuensi kejadian dari setiap variabel risiko yang terjadi di lapangan dengan menggunakan skala yang sama dengan TKI. Penentuan parameter kualifikasi secara kuantitatif berdasarkan frekuensi kejadian untuk setiap skala *Likelihood* (rentang 1 – 5) mengacu pada penelitian Itsna Affandi Firdaus (2017) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Skala *Likelihood* Penelitian

Skala	Kategori Likelihood	Deskripsi	Rentang Frekuensi
1	Rare	Tidak Mungkin Terjadi	1 – 2
2	Unlikely	Jarang Terjadi	3 – 8
3	Moderate	Bisa Terjadi	9 – 13
4	Likely	Sangat Mungkin Terjadi	14 – 20
5	Almost Certain	Hampir Pasti Terjadi	> 20

Penentuan nilai *Impact* mengacu pada skala yang dijabarkan pada Pedoman Manajemen Risiko PT. Pertamina EP No. A-003/A2/EP0200/2019-S9. Namun karena nilai parameter penentu skala yang terlalu besar (Rantau Field merupakan bagian kecil dari Pertamina), sehingga perlu dilakukan modifikasi parameter penentu skala yang digunakan. Penentuan nilai *Impact* dilakukan dengan dua parameter, yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan nilai *Impact* dari sisi kerugian biaya (IDR) dilakukan melalui skema FGD dengan pihak-pihak yang terlibat dalam pekerjaan *maintenance* dan operasi Power Plant Rantau. Metode yang digunakan adalah dengan mencari rata-rata kerugian per kejadian, yang nantinya akan menjadi nilai minimum pada skala *impact* (skala 1). Penentuan skala lainnya dilakukan dengan menggunakan rentang persentase sebagaimana dijabarkan pada Bab 3, dengan nilai minimum yang didapat merupakan nilai pada rentang 20% dari *risk limit*. Pada penelitian ini, didapatkan rata-rata nilai kerugian per kejadian senilai IDR 20.000.000.
2. Penentuan nilai *Impact* dari sisi durasi rerata gangguan dari setiap risiko dilakukan dengan mengadaptasi parameter yang digunakan di dalam penelitian Danung Isdarto (2014).

Penentuan nilai skala dari setiap risiko akan dilakukan dengan mempertimbangkan dua parameter di atas, dan nilai skala nantinya ditentukan dari parameter yang menghasilkan nilai skala *Impact* lebih besar dari setiap risiko yang ada. Tabel modifikasi untuk skala *Impact* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Skala *Impact* Penelitian

Skala	Kategori Impact	Deskripsi	Rentang Impact (IDR)	Rentang Impact (Durasi Jam)
1	Insignificant	Sangat Kecil	$n \leq 20$ Juta	$n \leq 2$

2	Minor	Kecil	20 Juta < n ≤ 40 Juta	2 < n ≤ 8
3	Moderate	Sedang	40 Juta < n ≤ 60 Juta	8 < n ≤ 48
4	Significant	Besar	60 Juta < n ≤ 80 Juta	48 < n ≤ 240
5	Catastrophic	Sangat Besar	n > 80 Juta	n > 240

Penentuan nilai *Detection* dilakukan dengan metode wawancara, diskusi, dan pembagian kuesioner kepada responden terpercaya yang terkait dengan operasional *power plant* dan Tim *Maintenance Rantau Field*. Kriteria nilai *Detection* ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Untuk penentuan kategori level risiko dari setiap risiko yang terdata, digunakan matriks risiko yang didapat dari Pedoman Manajemen Risiko No. A-003/A2/EP0200/2019-S9 Revisi 1 PT. Pertamina EP yang ditunjukkan pada Tabel 3.5.

#### 4.2.2.2 Penentuan Nilai Risk Priority Number (RPN)

Dalam analisa risiko kritical dengan metode FMEA, diperlukan pengolahan data *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection* untuk menentukan nilai RPN. Nilai RPN didapatkan dengan formula sebagai berikut:

$$RPN = Likelihood \times Impact \times Detection$$

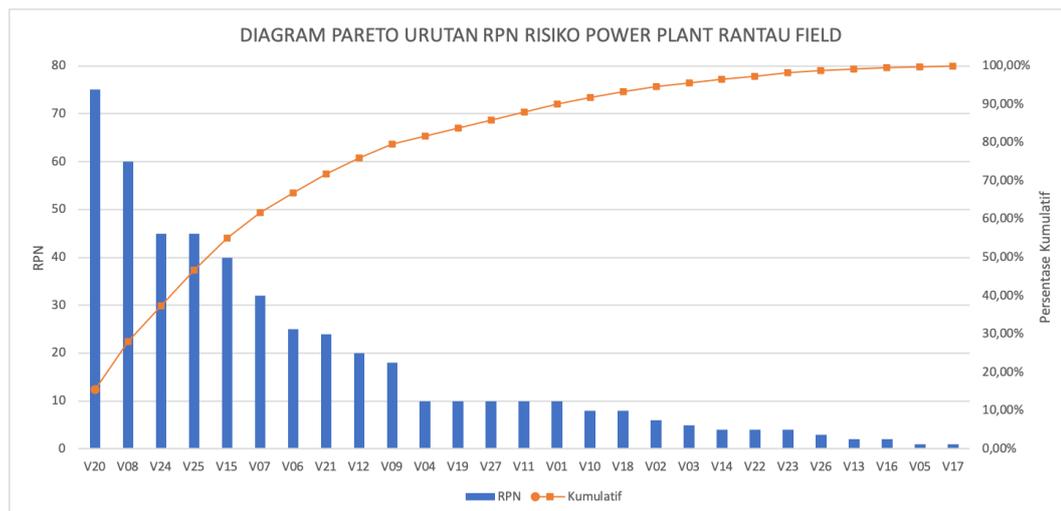
Hasil perhitungan nilai RPN dari ketiga *rating* tersebut ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data RPN Risiko Kritical *Power Plant Rantau Field*

Kode	Variabel Kegagalan	Likelihood	Impact	Detection	RPN
V01	Fuel Gas Piping Problem	2	5	1	10
V02	Gas Compressor Problem	1	2	3	6
V03	Regulator Problem	1	1	5	5
V04	Generator Bearing Problem	2	5	1	10

V05	Unstable Power Factor (Cos Phi)	1	1	1	1
V06	Combustion Chamber Problem	5	5	1	25
V07	Compensator Leakage	2	4	4	32
V08	Failed to Start	3	5	4	60
V09	High Temperature Pump Broken	3	3	2	18
V10	Water Jacket Problem	2	2	2	8
V11	Ignition System Problem	2	5	1	10
V12	Lubrication System Problem	2	5	2	20
V13	Oil Pressure Problem	1	2	1	2
V14	Broken Sensor	2	2	1	4
V15	Water Cooling System Leakage	2	5	4	40
V16	Overload	1	1	2	2
V17	Engine Overspeed	1	1	1	1
V18	Bad Cable Connection	1	2	4	8
V19	Broken Breaker	1	2	5	10
V20	Human Error	3	5	5	75
V21	Degradation of Cable Integrity	2	4	3	24
V22	Cable Replacement (Line Maneuver)	1	2	2	4
V23	Broken Cable Connector	1	2	2	4
V24	Ground Fault Trip	3	5	3	45
V25	Cable Short (MV)	3	5	3	45
V26	Transformer Problem	1	1	3	3
V27	VCB Problem	1	2	5	10

Berdasarkan data dari Tabel 4.4 yang ditunjukkan di atas, langkah selanjutnya adalah membuat diagram Pareto untuk mengetahui ranking dari RPN setiap risiko yang teridentifikasi yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Diagram Pareto Risiko Urutan RPN *Power Plant* Rantau Field

Gambar 4.1 menunjukkan kode kegagalan dari *Power Plant* Rantau Field dimulai dengan yang memiliki nilai RPN terbesar hingga terkecil. Dari data yang didapatkan di atas, dilakukan penentuan risiko kritis dengan menentukan nilai kritis dari RPN. Nilai kritis dari RPN didapat dengan formula sebagai berikut:

$$RPN \text{ Critical Value} = \frac{\text{Total RPN}}{\text{Jumlah Risiko}} = \frac{482}{27} = 17,85$$

Berdasarkan formula di atas, diperoleh 10 risiko kritis dari total 27 risiko yang teridentifikasi. Tabel 4.5 menunjukkan risiko kritis berdasarkan hasil pengolahan data dari nilai RPN yang didapatkan.

Tabel 4.5 Risiko Kritis *Power Plant* dari Nilai RPN

Kode	Variabel Kegagalan	Likelihood	Impact	Detection	RPN
V20	Human Error	3	5	5	75
V08	Failed to Start	3	5	4	60
V24	Ground Fault Trip	3	5	3	45
V25	Cable Short (MV)	3	5	3	45
V15	Water Cooling System Leakage	2	5	4	40
V07	Compensator Leakage	2	4	4	32
V06	Combustion Chamber Problem	5	5	1	25

V21	Degradation of Cable Integrity	2	4	3	24
V12	Lubrication System Problem	2	5	2	20
V09	High Temperature Pump Broken	3	3	2	18

### 4.2.3 Risk Failure Mode and Effect Analysis (RFMEA)

Proses selanjutnya yang dilakukan dalam mencari risiko kritis (pengerucutan risiko kritis yang didapatkan dari seluruh risiko kritis yang teridentifikasi) adalah dengan menggunakan metode *Risk Failure Mode and Effect Analysis*. Metode RFMEA sendiri terdiri dari beberapa langkah, yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan *Rating*
2. Perhitungan Nilai *Risk Priority Number* (RPN)
3. Perhitungan Nilai *Risk Score*
4. Analisis RFMEA dengan menggunakan *scatter plot*

Langkah pertama dan kedua yang dijabarkan di atas telah didapatkan pada metode FMEA yang dilakukan di bagian sebelumnya. Langkah selanjutnya dalam proses dengan metode RFMEA adalah langkah perhitungan *risk score* dan analisis RFMEA dengan menggunakan *scatter plot*.

#### 4.2.3.1 Perhitungan Nilai Risk Score

Dari hasil penentuan nilai *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection* pada langkah sebelumnya, selanjutnya dilakukan pengolahan data dari tiga nilai tersebut untuk menentukan risiko kritis Power Plant Rantau. Langkah yang dilakukan berikutnya adalah perhitungan nilai *Risk Score* yang didapat dengan menggunakan formula sebagai berikut:

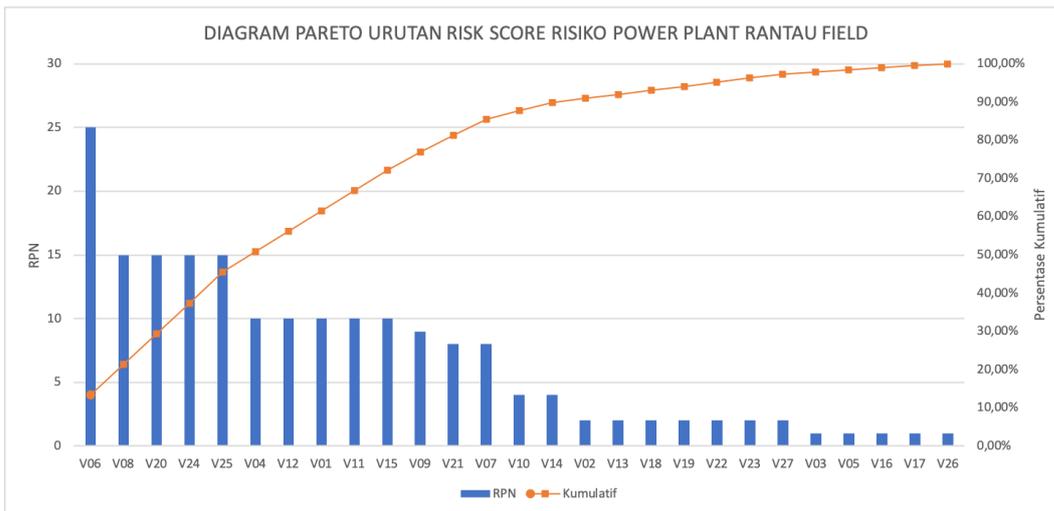
$$\text{Risk Score} = \text{Likelihood} \times \text{Impact}$$

Tabel 4.6 menunjukkan *Risk Score* yang didapat untuk setiap risiko yang teridentifikasi di Power Plant Rantau Field.

Tabel 4.6 Risk Score Risiko Power Plant Rantau Field

Kode	Variabel Kegagalan	Likelihood	Impact	Risk Score
V01	Fuel Gas Piping Problem	2	5	10
V02	Gas Compressor Problem	1	2	2
V03	Regulator Problem	1	1	1
V04	Generator Bearing Problem	2	5	10
V05	Unstable Power Factor (Cos Phi)	1	1	1
V06	Combustion Chamber Problem	5	5	25
V07	Compensator Leakage	2	4	8
V08	Failed to Start	3	5	15
V09	High Temperature Pump Broken	3	3	9
V10	Water Jacket Problem	2	2	4
V11	Ignition System Problem	2	5	10
V12	Lubrication System Problem	2	5	10
V13	Oil Pressure Problem	1	2	2
V14	Broken Sensor	2	2	4
V15	Water Cooling System Leakage	2	5	10
V16	Overload	1	1	1
V17	Engine Overspeed	1	1	1
V18	Bad Cable Connection	1	2	2
V19	Broken Breaker	1	2	2
V20	Human Error	3	5	15
V21	Degradation of Cable Integrity	2	4	8
V22	Cable Replacement (Line Maneuver)	1	2	2
V23	Broken Cable Connector	1	2	2
V24	Ground Fault Trip	3	5	15
V25	Cable Short (MV)	3	5	15
V26	Transformer Problem	1	1	1
V27	VCB Problem	1	2	2

Berdasarkan data di atas, kemudian didapatkan diagram Pareto dalam rangka menentukan urutan dari Risk Score setiap risiko yang teridentifikasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Diagram Pareto Risiko Urutan *Risk Score Power Plant Rantau Field*

#### 4.2.3.2 Analisis RFMEA dengan Scatter Plot

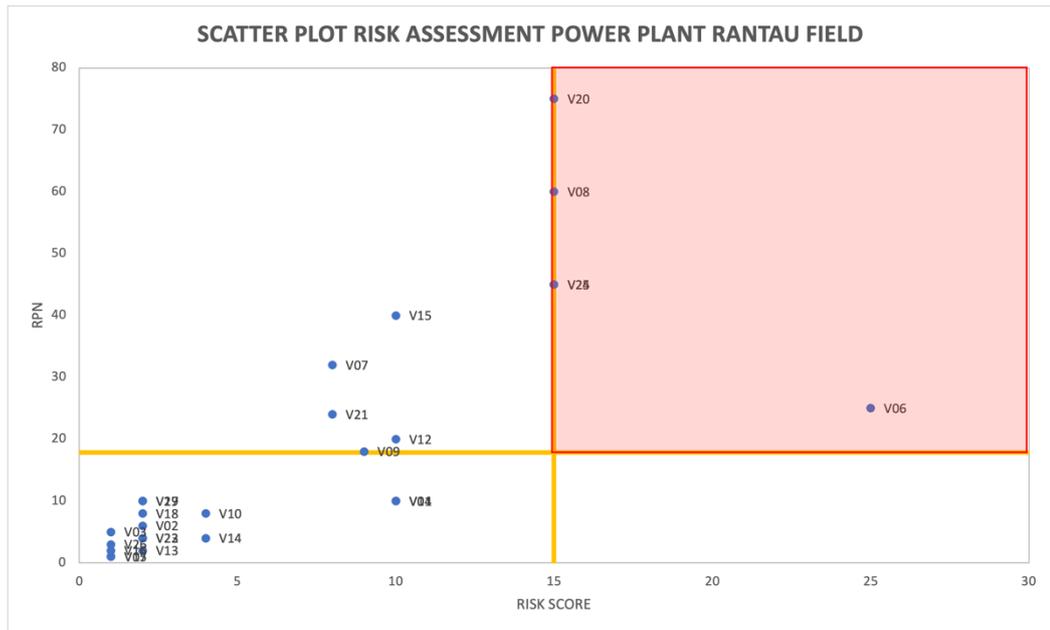
Langkah berikutnya dalam menentukan risiko kritikal dari beragam risiko yang menjadi objek penilaian dalam metode RFMEA adalah dengan mencari *intersection* antara *Risk Score* dan RPN menggunakan bantuan *scatter plot*. *Scatter plot* yang dibuat dibagi ke dalam empat kuadran dengan penentuan pembagian area dari nilai kritis *Risk Score* dan RPN sebagaimana yang telah dijelaskan di dalam Bab 3. Nilai kritis yang didapat adalah sebagai berikut:

1. Nilai kritis RPN didapat dengan formula sebagai berikut:

$$RPN_{Critical\ Value} = \frac{Total\ RPN}{Jumlah\ Risiko} = \frac{482}{27} = 17,85$$

2. Nilai kritis *Risk Score* didapat dari nilai kategori risiko tinggi yang ditunjukkan dalam Matriks Risiko pada Tabel 3.6, yaitu 15.

Setiap dari risiko (dalam bentuk kode) kemudian ditentukan titiknya di dalam *scatter plot* berdasarkan data RPN dan *Risk Score* dari setiap risiko yang ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.6. Gambar 4.3 menunjukkan *scatter plot* dari risiko-risiko Power Plant Rantau Field berdasarkan data dari Tabel 4.4 dan Tabel 4.6.



Gambar 4.3 Scatter Plot Risk Assessment Power Plant Rantau Field

#### 4.2.4 Penentuan Risiko Kritis

Dari *scatter plot* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1, dapat disimpulkan bahwa terdapat 5 risiko kegagalan Power Plant Rantau yang termasuk ke dalam kategori risiko kritis dari total 27 risiko kegagalan yang teridentifikasi. Seluruh risiko kritis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Risiko Kritis Power Plant Rantau Field

Kode	Variabel Kegagalan	Risk Score	RPN
V20	Human Error	15	75
V08	Failed to Start	15	60
V24	Ground Fault Trip	15	45
V25	Cable Short (MV)	15	45
V06	Combustion Chamber Problem	25	25

#### 4.3 Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko

Tahap berikutnya dalam penelitian kali ini adalah tahap identifikasi sumber penyebab risiko yang akan dilakukan dengan menggunakan metode *Fault Tree*

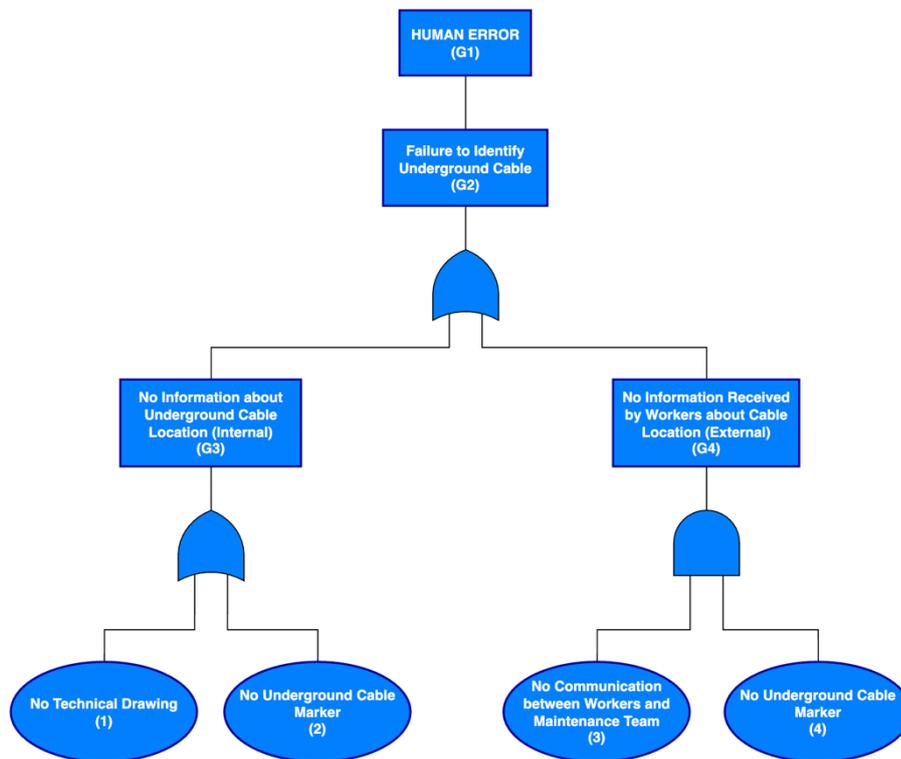
*Analysis* (FTA), yang diimplementasikan terhadap risiko kritikal yang telah didapatkan pada tahap sebelumnya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Diagram Fault Tree Analysis (FTA) diimplementasikan terhadap 5 risiko kritikal yang telah didapatkan dari proses sebelumnya untuk mendapatkan akar permasalahan teknis dari risiko kritikal yang muncul. Risiko kritikal yang akan diidentifikasi dengan FTA akan berperan sebagai *top events* yang kemudian akan dianalisa lebih dalam hingga bisa mendapatkan akar permasalahan dari risiko kritikal tersebut, yang nantinya disebut dengan *basic events*. Kemudian dilakukan perhitungan terhadap probabilitas dari *events* dan penentuan *minimum cut sets* dengan menggunakan metode MOCUS.

#### **4.3.1 Human Error**

*Human error* yang dimaksud di sini adalah kegagalan pada jaringan transmisi yang disebabkan oleh kelalaian atau kesalahan yang dilakukan oleh pihak-pihak tertentu ketika melakukan pekerjaan di sekitar jaringan transmisi. Sebagian besar kegagalan yang terjadi merupakan kejadian rusaknya jalur kabel transmisi bawah tanah akibat terkena alat gali tanah ketika ada pekerjaan penggalian di sekitar jalur kabel transmisi. Sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, Rantau Field memiliki jaringan transmisi bawah tanah yang tidak terlihat secara visual. Kegagalan pada jaringan transmisi tersebut memiliki dampak berupa tidak tersalurkannya energi listrik ke beban-beban listrik fasilitas produksi dan fasilitas umum yang dilayani oleh Power Plant Rantau.

Untuk mengetahui penyebab dari kegagalan akibat *human error* tersebut, dilakukan analisa menggunakan metode Fault Tree Analysis sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.4.



Gambar 4.4 *Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Human Error*

Berdasarkan Gambar 4.4 di atas, jika dianalisa lebih dalam dengan metode FTA, kegagalan akibat *human error* disebabkan karena kegagalan mengidentifikasi jalur kabel di lokasi pekerjaan. Jika kegagalan tersebut diturunkan kembali, terdapat dua *intermediate events* yang teridentifikasi, yaitu sebagai berikut:

1. Tidak ada informasi mengenai keberadaan kabel bawah tanah (G3)
2. Informasi keberadaan kabel bawah tanah tidak sampai kepada Pekerja (G4)

Dari *intermediate events* G3, terdapat dua *basic events* yang teridentifikasi, yaitu sebagai berikut:

1. Tidak ada *technical drawing* atau gambar yang menunjukkan lokasi bentangan kabel bawah tanah (1)
2. Tidak ada penanda kabel bawah tanah di lokasi (2)

Dari *intermediate events* G4, terdapat dua *basic events* yang teridentifikasi, yaitu sebagai berikut:

1. Tidak ada komunikasi antara Pekerja dengan Tim Maintenance (3)
2. Tidak ada penanda kabel bawah tanah di lokasi (2)

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan *minimum cut sets* dari *basic events* yang teridentifikasi di atas dengan menggunakan metode MOCUS sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko. Proses penentuan *minimum cut sets* dengan metode MOCUS ditunjukkan dalam bentuk matriks pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Matriks MOCUS Risiko *Human Error*

1	2	3	4	5
G1	G2	G3	1	1
		G4	2	2
			G4	3, 4

Dari Tabel 4.8 di atas, terlihat bahwa terdapat 3 *cut sets* yang menjadi *minimum cut sets* untuk terjadinya *top event human error*. Kedua *cut sets* tersebut dijabarkan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 *Minimum Cut Sets* Risiko *Human Error*

Minimum Cut Sets	Keterangan
1	No Technical Drawing
2	No Underground Cable Marker
3, 4	No Communication between Workers and Maintenance Team, No Underground Cable Marker

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung probabilitas dari *events* yang dijabarkan di dalam FTA sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian *Fault Tree Analysis* (FTA).

Berdasarkan data riwayat, untuk *basic events* dari FTA *human error* didapat nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P('1') = \frac{\text{frekuensi akibat '1'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{4}{9} = 0.44$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{4}{9} = 0.44$$

$$P('3') = \frac{\text{frekuensi akibat '3'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{5}{9} = 0.56$$

$$P('4') = \frac{\text{frekuensi akibat '4'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{5}{9} = 0.56$$

Kemudian dicari nilai probabilitas G3 dan G4 melalui perhitungan yang disesuaikan dengan *gate* dari masing-masing *intermediate events*. Untuk kasus di atas, G3 merupakan kombinasi antara *basic events* '1' OR '2', sedangkan G4 merupakan kombinasi antara *basic events* '3' AND '2'. Maka didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$P(G3) = P('1' \cup '2') = 1 - [1 - P('1')][1 - P('2')]$$

$$P(G3) = 1 - [1 - 0.44][1 - 0.44] = 0.6864$$

$$P(G4) = P('3') * P('2') = 0.56 * 0.56 = 0.314$$

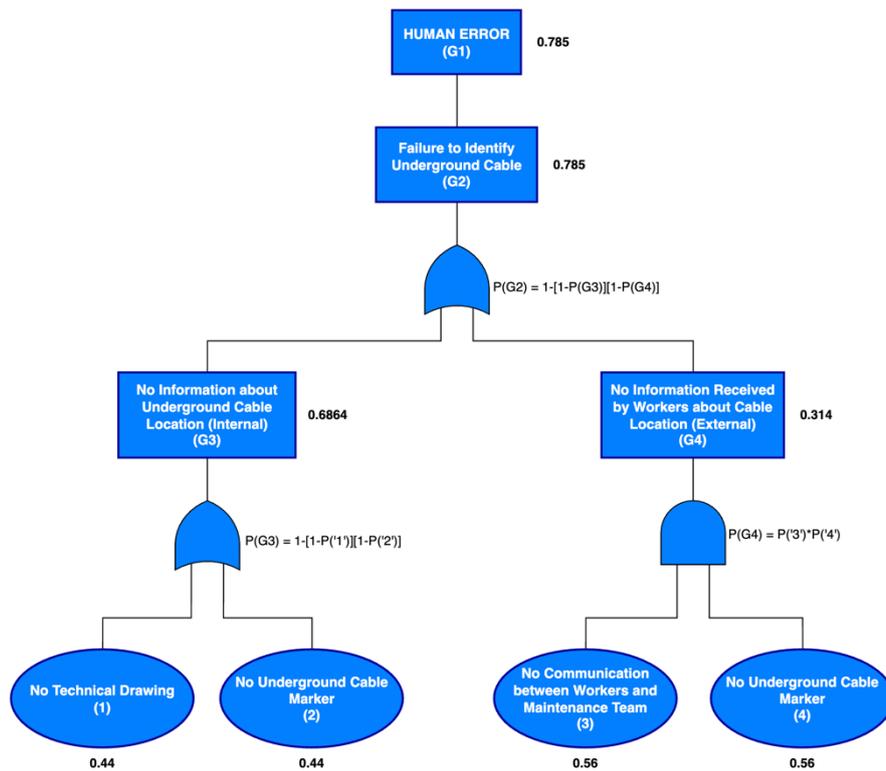
Kemudian didapatkan nilai probabilitas dari *top events* melalui proses sebagai berikut:

$$P(G2) = P(G3 \cup G4) = 1 - [1 - P(G3)][1 - P(G4)]$$

$$P(G2) = 1 - [1 - 0.6864][1 - 0.314] = 0.785$$

$$P(G1) = P(G2) = 0.785$$

Dari proses di atas, didapatkan nilai probabilitas dari *top events human error* adalah sebesar 0.785. Proses di atas dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5.

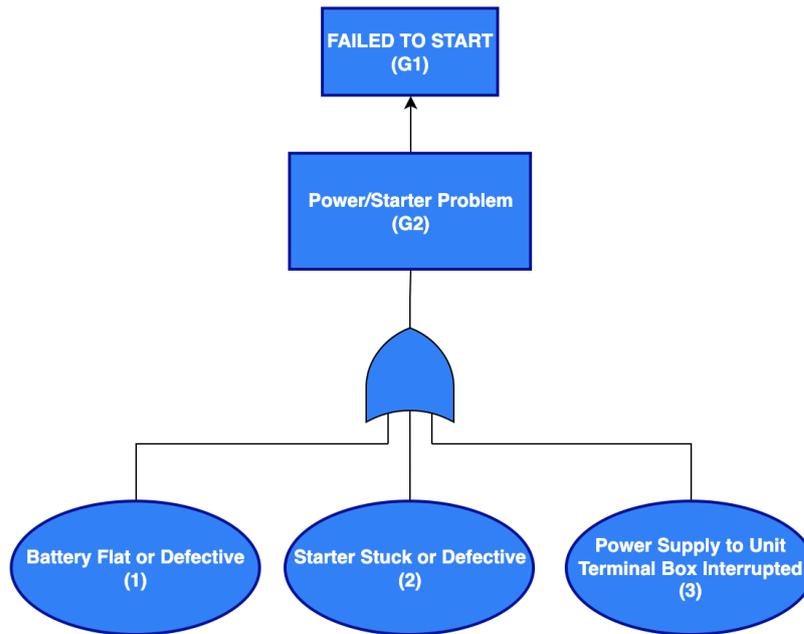


Gambar 4.5 Perhitungan Probabilitas Risiko *Human Error*

### 4.3.2 Failed to Start

Faktor risiko *failed to start* di sini adalah gagalnya Genset Power Plant Rantau ketika melakukan proses *start-up* saat Genset dibutuhkan untuk segera beroperasi.

Untuk mengetahui penyebab dari risiko *failed to start* tersebut, dilakukan analisa menggunakan metode Fault Tree Analysis sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Failed to Start*

Berdasarkan Gambar 4.10 di atas, jika diturunkan, kegagalan risiko *failed to start* disebabkan oleh 2 hal dengan satu di antaranya merupakan *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Permasalahan *power / starter* (G2)
2. Kecacatan *ignition control unit* (1)

Untuk sisi permasalahan *power / starter*, jika diturunkan kembali, terdapat 3 hal yang teridentifikasi sebagai *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Baterai kosong atau cacat (1). Baterai merupakan komponen penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia yang berfungsi sebagai sumber arus listrik searah (*direct current*). Pada *engine*, baterai ini berperan sebagai sumber energi listrik dalam sistem kelistrikan *engine* yang berperan dalam proses putaran (*cranking*) *dynamo starter* untuk mencapai RPM yang diharapkan agar *engine* dapat beroperasi.
2. *Starter* mengalami *stuck* atau cacat (2). *Starter* atau *dynamo starter* merupakan komponen elektro-mekanis yang berfungsi untuk

menggerakkan suatu poros atau roda gigi pada suatu *engine* dengan sumber tenaga berasal dari baterai/*accumulator*.

3. *Power supply* ke *unit terminal box* terganggu (3). Jika *Power supply* menuju *terminal box*, maka akan menyebabkan gagalnya proses *start-up* pada suatu *engine*. *Power supply* ke *terminal box* dihubungkan oleh kabel-kabel atau komponen *electrical*.

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan *minimum cut sets* dari *basic events* yang teridentifikasi di atas dengan menggunakan metode MOCUS sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko. Proses penentuan *minimum cut sets* dengan metode MOCUS ditunjukkan dalam bentuk matriks pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Matriks MOCUS Risiko *Failed to Start*

1	2	3
G1	G2	1
		2
		3

Dari Tabel 4.10 di atas, terlihat bahwa terdapat 4 *cut sets* yang menjadi *minimum cut sets* untuk terjadinya *top events ground fault trip*. *Minimum cut sets* tersebut dijabarkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 *Minimum Cut Sets* Risiko *Failed to Start*

Minimum Cut Sets	Keterangan
1	Battery Flat or Defective
2	Starter Stuck or Defective
3	Power Supply to Unit Terminal Box Interrupted

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung probabilitas dari *events* yang dijabarkan di dalam FTA sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian *Fault Tree Analysis* (FTA).

Berdasarkan data riwayat, untuk *basic events* dari FTA *failed to start* didapat nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P('1') = \frac{\text{frekuensi akibat '1'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{4}{9} = 0.44$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{3}{9} = 0.33$$

$$P('3') = \frac{\text{frekuensi akibat '3'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{2}{9} = 0.22$$

Kemudian dicari nilai probabilitas G2 melalui perhitungan yang disesuaikan dengan *gate* dari masing-masing *intermediate events*. Untuk kasus di atas, G2 merupakan kombinasi antara *basic events* '1' OR '2' OR '3'. Maka didapatkan nilai probabilitas sebagai berikut:

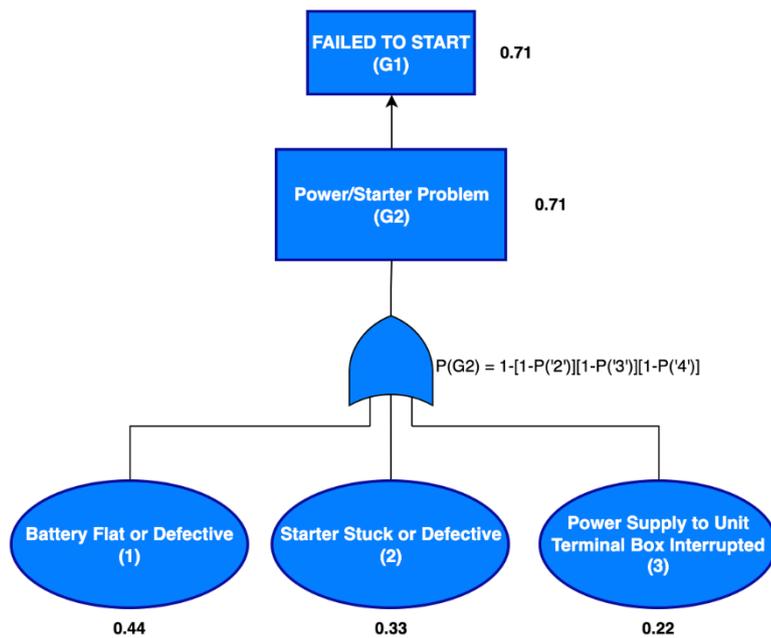
$$P(G2) = P(1 \cup 2 \cup 3) = 1 - [1 - P('1')][1 - P('2')][1 - P('3')]$$

$$P(G2) = 1 - [1 - 0.44][1 - 0.33][1 - 0.22] = 0.71$$

Kemudian dicari nilai probabilitas *top event failed to start* dengan perhitungan probabilitas sebagai berikut:

$$P(G1) = P(G2) = 0.71$$

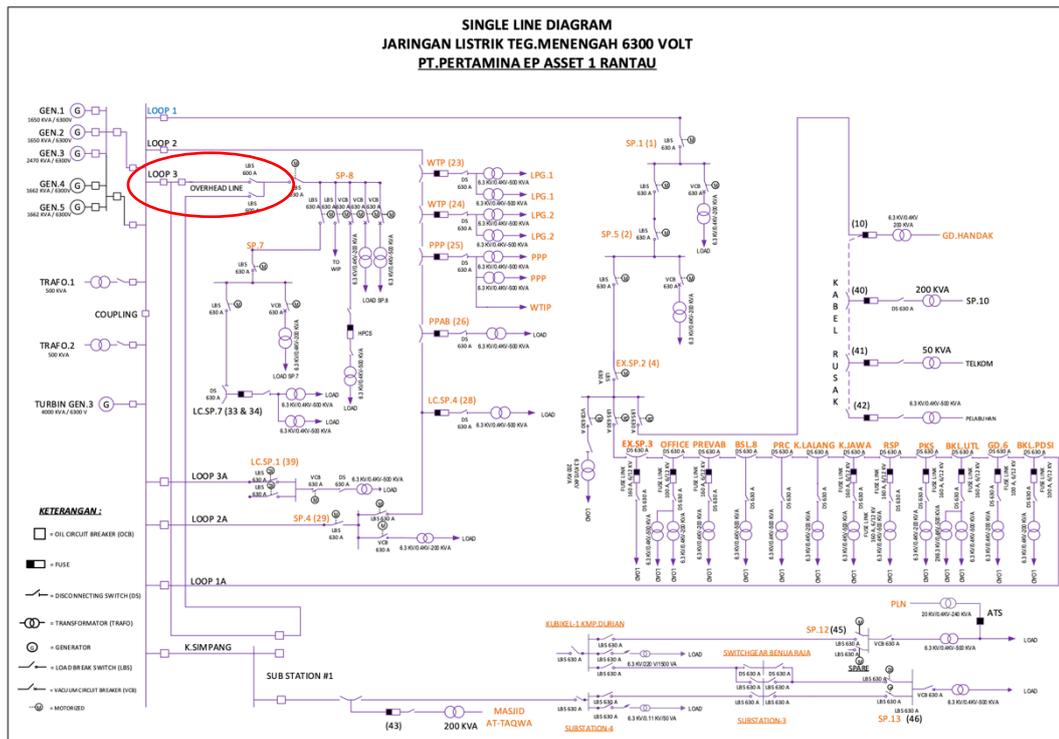
Dari proses di atas, didapatkan nilai probabilitas dari *top events failed to start* adalah sebesar 0.71. Proses di atas dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Perhitungan Probabilitas Risiko *Failed to Start*

### 4.3.3 Ground Fault Trip

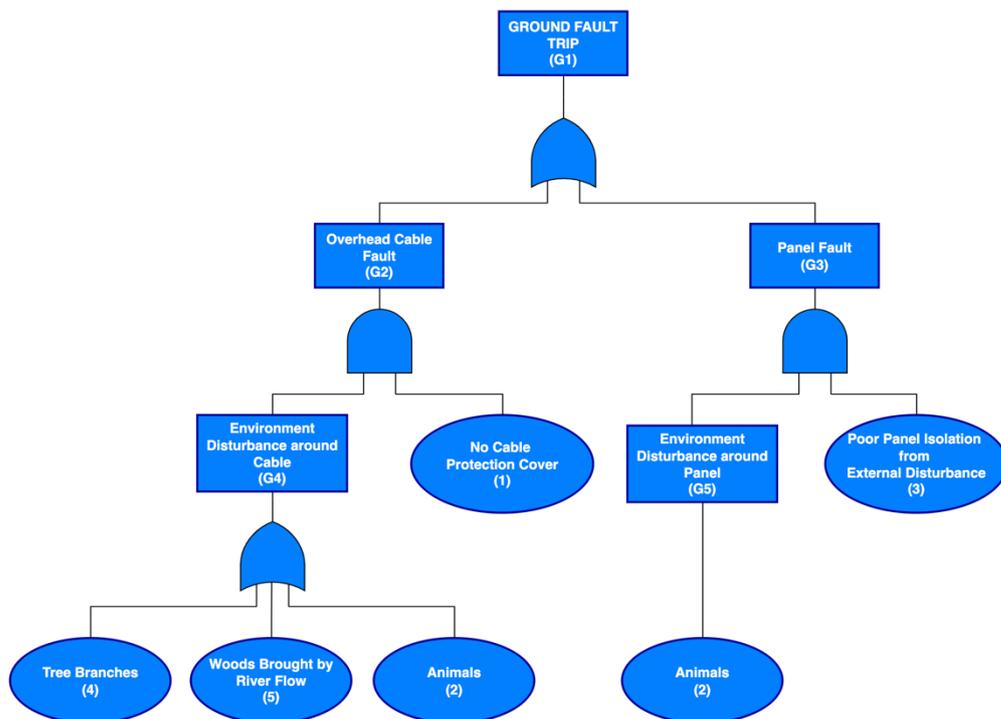
*Ground fault* merupakan kondisi sistem listrik mengalami kegagalan (*fault*) antara kabel dengan *ground* (tanah/bumi), yang juga dapat disimpulkan sistem mengalami *short* karena aliran listrik mengalir akibat kontak langsung dengan tanah atau dengan kabel *ground*, bukan di dalam rangkaian listrik yang semestinya. Dalam data riwayat kejadian di Rantau Field, kejadian *ground fault* terjadi pada kabel *overhead* yang berada pada Loop 3 dan 3B Rantau Field. Gambar 4.8 menunjukkan lokasi kabel *overhead* yang menjadi titik kejadian sering terjadinya *ground fault trip* di Rantau Field.



Gambar 4.8 Titik Kabel *Overhead* pada *Single Line Diagram* Sistem Transmisi MV Rantau Field

Sebagai penjelasan tambahan dari gambar di atas, sebagian saluran transmisi di Rantau Field menggunakan kabel *overhead* dengan tipe AAAC berukuran 70 mm<sup>2</sup> yang terbentang sepanjang 2,2 Km untuk menghantarkan listrik menuju SP-VII, SP-VIII, HPCS, dan WIP.

Untuk mengetahui penyebab dari kegagalan akibat *ground fault trip* tersebut, dilakukan analisa menggunakan metode *Fault Tree Analysis* sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.9.



Gambar 4.9 *Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Ground Fault Trip*

Berdasarkan Gambar 4.9 di atas, terlihat bahwa jika diturunkan, kegagalan berupa *ground fault trip* yang terjadi diakibatkan dua hal, yaitu sebagai berikut:

1. Kegagalan dari sisi kabel *overhead* (G2)
2. Kegagalan dari sisi panel (G3)

Kegagalan di sisi kabel menghasilkan 4 *basic events* yang tiga di antaranya merupakan turunan dari faktor gangguan lingkungan sekitar kabel (G4). 4 *basic events* yang merupakan turunan dari kegagalan sisi kabel adalah sebagai berikut:

1. Gangguan dari dahan pohon di sekitar kabel *overhead* yang menyentuh kabel *overhead* (4). Kondisi saat ini di sekitar jalur transmisi kabel *overhead* terdapat banyak pepohonan yang memiliki dahan yang sangat dekat dengan kabel *overhead*. Gambar 4.10 menunjukkan kondisi di sekitar jalur kabel *overhead*.



Gambar 4.10 Kondisi Area Sekitar Kabel Overhead Rantau Field

2. Bongkahan kayu yang terbawa oleh air sungai ketika sungai pasang dan menyentuh kabel *overhead* (5). Sebagian kabel *overhead* di Rantau Field menyeberang sungai, sehingga jika debit air di sungai sedang tinggi, bongkahan-bongkahan kayu yang terbawa sungai berpotensi menyentuh kabel *overhead*.
3. Hewan yang menyentuh kabel (2)
4. Tidak adanya selubung proteksi yang melindungi kabel *overhead* dari gangguan lingkungan sekitar kabel (1). Saat ini kondisi kabel *overhead* di Rantau Field menggunakan tipe kabel AAAC yang terbuat dari alumunium dan tidak memiliki isolasi (*bare cable*) yang berpotensi menyebabkan *ground fault* apabila terganggu oleh lingkungan sekitar. Gambar 4.11 menunjukkan ilustrasi kabel AAAC tanpa selubung pelindung yang saat ini beroperasi di Rantau Field.



Gambar 4.11 Kabel AAAC (*Bare Cable*)

Kegagalan di sisi panel menghasilkan dua *basic events* yang satu di antaranya merupakan turunan dari faktor gangguan lingkungan eksternal panel (G5). Kedua *basic events* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Gangguan dari hewan yang masuk ke dalam panel (2)
2. Kondisi panel yang tidak terisolasi dengan baik dari potensi gangguan eksternal panel (3)

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan *minimum cut sets* dari *basic events* yang teridentifikasi di atas dengan menggunakan metode MOCUS sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko. Proses penentuan *minimum cut sets* dengan metode MOCUS ditunjukkan dalam bentuk matriks pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Matriks MOCUS Risiko *Ground Fault Trip*

1	2	3	4	5
G1	G2	G4, 1	4, 1	4, 1
	G3	G5, 3	5, 1	5, 1
			2, 1	2, 1
			G5, 3	2, 3

Dari Tabel 4.12 di atas, terlihat bahwa terdapat 4 *cut sets* yang menjadi *minimum cut sets* untuk terjadinya *top events ground fault trip*. *Minimum cut sets* tersebut dijabarkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Minimum Cut Sets Risiko Ground Fault Trip*

Minimum Cut Sets	Keterangan
4, 1	Tree Branches, No Cable Protection Cover
5, 1	Woods Brought by River Flow, No Cable Protection Cover
2, 1	Animals, No Cable Protection Cover
2, 3	Animals, Poor Panel Isolation from External Disturbances

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung probabilitas dari *events* yang dijabarkan di dalam FTA sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian *Fault Tree Analysis (FTA)*.

Berdasarkan data riwayat, untuk *basic events* dari FTA *ground fault trip* didapat nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P('4') = \frac{\text{frekuensi akibat '4'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{6}{11} = 0.55$$

$$P('5') = \frac{\text{frekuensi akibat '5'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{3}{11} = 0.27$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{11} = 0.09\dots(\text{dari sisi G4})$$

$$P('3') = \frac{\text{frekuensi akibat '3'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{11} = 0.09$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{11} = 0.09\dots(\text{dari sisi G5})$$

Kemudian dicari nilai probabilitas G4 dan G5 melalui perhitungan yang disesuaikan dengan *gate* dari masing-masing *intermediate events*. Untuk kasus di atas, G4 merupakan kombinasi antara *basic events* '4' OR '5' OR '2', sedangkan G5 merupakan *basic events* '2'. Maka didapatkan nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P(G4) = P(4 \cup 5 \cup 2) = 1 - [1 - P('4')][1 - P('5')][1 - P('2')]$$

$$P(G4) = 1 - [1 - 0.55][1 - 0.27][1 - 0.09] = 0.70$$

$$P(G5) = P('2') = 0.09$$

$$P('1') = P(G4) = 0.70$$

$$P('3') = P(G5) = 0.09$$

Kemudian dicari nilai probabilitas dari G2 dan G3 dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P(G2) = P('1') * P(G4) = 0.70 * 0.70 = 0.49$$

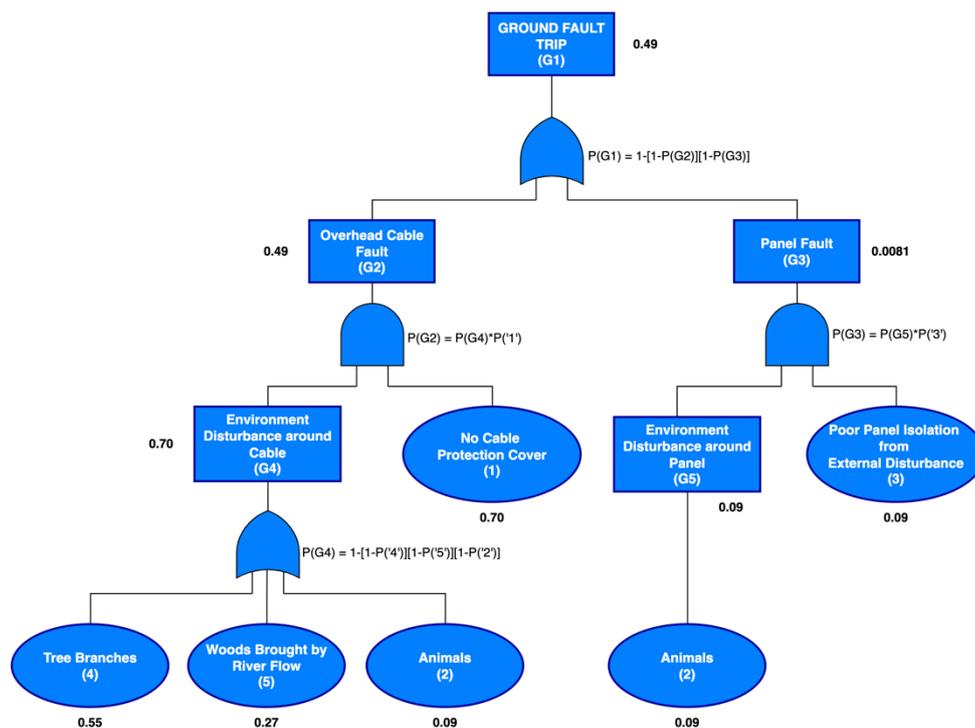
$$P(G3) = P(G5) * P('3') = 0.09 * 0.09 = 0.0081$$

Setelah itu didapat nilai probabilitas *top event ground fault trip* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P(G1) = P(G2 \cup G3) = 1 - [1 - P(G2)][1 - P(G3)]$$

$$P(G1) = 1 - [1 - 0.49][1 - 0.0081] = 0.49$$

Dari proses di atas, didapatkan nilai probabilitas dari *top events ground fault trip* adalah sebesar 0.49. Proses di atas dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.12.

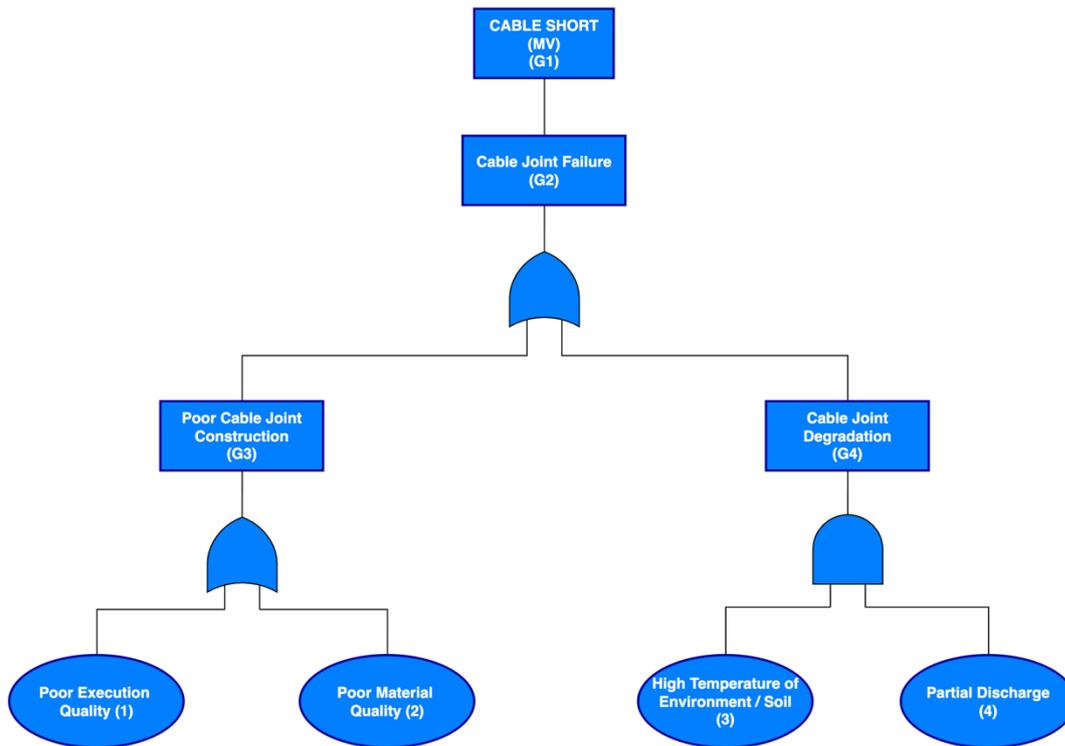


Gambar 4.12 Perhitungan Probabilitas Risiko *Ground Fault Trip*

#### 4.3.4 Cable Short (MV)

Faktor risiko *cable short* (MV) yang dimaksud di sini adalah fenomena terjadinya *short circuit* pada kabel underground tegangan menengah yang berperan sebagai jalur transmisi akibat terhubunginya inti kabel fasa yang satu dengan fasa yang lainnya. Hal ini menyebabkan jalur transmisi terganggu dan tidak bisa menyalurkan listrik ke beban-beban listrik yang dilayani jalur kabel tersebut. Dari riwayat kejadian *cable short* yang terjadi di Rantau Field, sebagian besar kejadian tersebut terjadi pada titik yang telah dilakukan penyambungan (sambungan kabel pekerjaan perbaikan sebelumnya).

Untuk mengetahui penyebab dari risiko *cable short* (MV) tersebut, dilakukan analisa menggunakan metode Fault Tree Analysis sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 4.13.



Gambar 4.13 *Fault Tree Analysis (FTA) Risiko Cable Short (MV)*

Berdasarkan Gambar 4.13 di atas, terlihat bahwa jika diturunkan, kegagalan berupa *cable short* (MV) yang terjadi diakibatkan oleh dua hal, yaitu sebagai berikut:

1. Konstruksi sambungan kabel yang kurang baik dari sisi kualitas (G3)
2. Degradasi bagian sambungan kabel (G4)

Untuk sisi konstruksi sambungan kabel yang kurang baik dari sisi kualitas, jika kembali diturunkan, terdapat dua hal yang teridentifikasi sebagai *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Kurang baiknya proses eksekusi penyambungan kabel (1)
2. Kurang baiknya kualitas material penyambungan kabel atau kualitas *jointing kit* (2)

Untuk sisi degradasi sambungan kabel, jika kembali diturunkan, terdapat dua hal yang teridentifikasi sebagai *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Temperatur tanah dan lingkungan sekitar kabel yang tinggi (3). Dalam beberapa penelitian sebagaimana yang disampaikan oleh Rogier Jongen dkk (2009) dan L. Calcara (2017), temperatur lingkungan kabel dapat memberikan pengaruh terhadap degradasi insulasi kabel, khususnya bagian sambungan kabel yang menjadi titik lemah dari konstruksi kabel transmisi. Dari hasil penelitian-penelitian tersebut, ketika temperatur tinggi, kejadian *fault* meningkat. Dari riwayat kejadian terkait *cable short* (MV), 6 dari 9 kejadian *cable short* di Rantau Field terjadi di periode Mei – September yang merupakan periode musim kemarau di Indonesia.
2. *Partial discharge* (4). *Partial discharge* merupakan fenomena lepasnya sebagian muatan listrik secara terlokalisasi yang terjadi pada bagian isolasi dari kabel (biasanya dalam bentuk bunga api listrik). Hal ini berpotensi menyebabkan terhubungnya dua elektroda (inti kabel) yang seharusnya tidak terhubung. Fenomena ini jika berlangsung dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kerusakan di sisi isolasi kabel dan berpotensi menyebabkan terjadinya *short circuit* pada jalur kabel transmisi.

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan *minimum cut sets* dari *basic events* yang teridentifikasi di atas dengan menggunakan metode MOCUS sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko. Proses penentuan *minimum cut sets* dengan metode MOCUS ditunjukkan dalam bentuk matriks pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Matriks MOCUS Risiko *Cable Short* (MV)

1	2	3	4	5
G1	G2	G3	1	1
		G4	2	2
			G4	3, 4

Dari Tabel 4.14 di atas, terlihat bahwa terdapat 3 *cut sets* yang menjadi *minimum cut sets* untuk terjadinya *top events ground fault trip*. *Minimum cut sets* tersebut dijabarkan pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 *Minimum Cut Sets Risiko Cable Short (MV)*

Minimum Cut Sets	Keterangan
1	Poor Execution Quality
2	Poor Material Quality
3, 4	High Temperature of Environment / Soil, Partial Discharge

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung probabilitas dari *events* yang dijabarkan di dalam FTA sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian *Fault Tree Analysis (FTA)*.

Berdasarkan data riwayat, untuk *basic events* dari FTA *ground fault trip* didapat nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P('1') = \frac{\text{frekuensi akibat '1'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{9} = 0.11$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{9} = 0.11$$

$$P('3') = \frac{\text{frekuensi akibat '3'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{7}{9} = 0.78$$

$$P('4') = \frac{\text{frekuensi akibat '4'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{7}{9} = 0.78$$

Kemudian dicari nilai probabilitas G3 dan G4 melalui perhitungan yang disesuaikan dengan *gate* dari masing-masing *intermediate events*. Untuk kasus di atas, G3 merupakan kombinasi antara *basic events* '1' OR '2', sedangkan G4

merupakan kombinasi antara *basic events* '3' AND '4'. Maka didapatkan nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P(G3) = P(1 \cup 2) = 1 - [1 - P('1')][1 - P('2')]$$

$$P(G3) = 1 - [1 - 0.11][1 - 0.11] = 0.21$$

$$P(G4) = P('3') * P('4') = 0.78 * 0.78 = 0.61$$

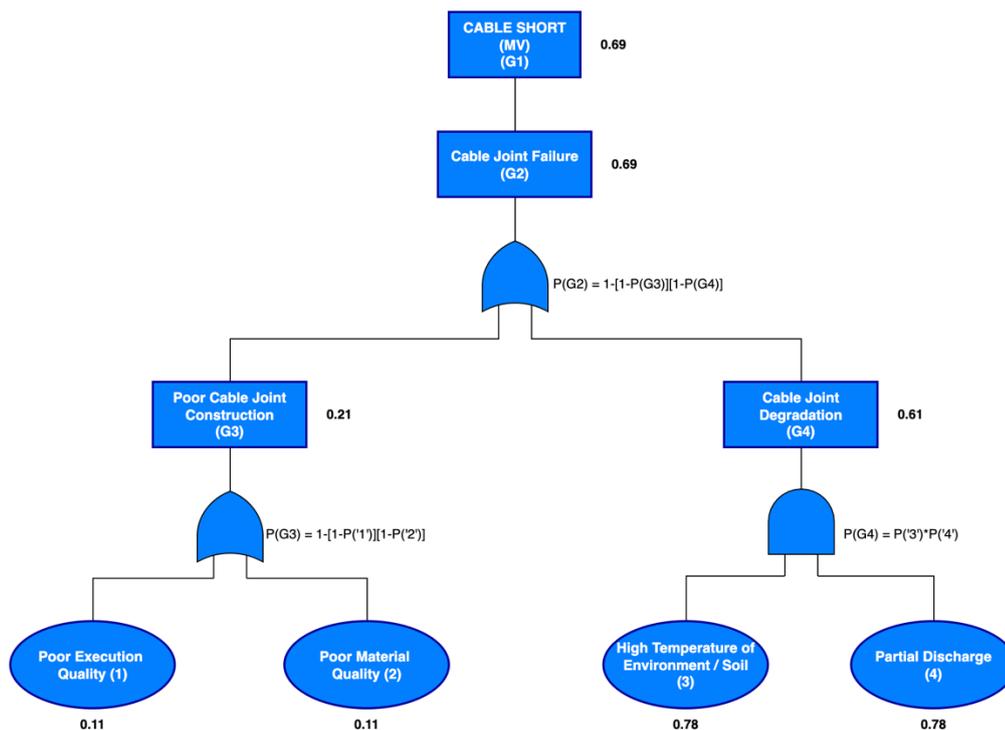
Kemudian didapatkan nilai probabilitas dari *top events cable short* (MV) dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P(G2) = P(G3 \cup G4) = 1 - [1 - P(G3)][1 - P(G4)]$$

$$P(G2) = 1 - [1 - 0.21][1 - 0.61] = 0.69$$

$$P(G1) = P(G2) = 0.69$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai probabilitas *top events cable short* (MV) adalah sebesar 0.69. Proses perhitungan di atas dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.14.

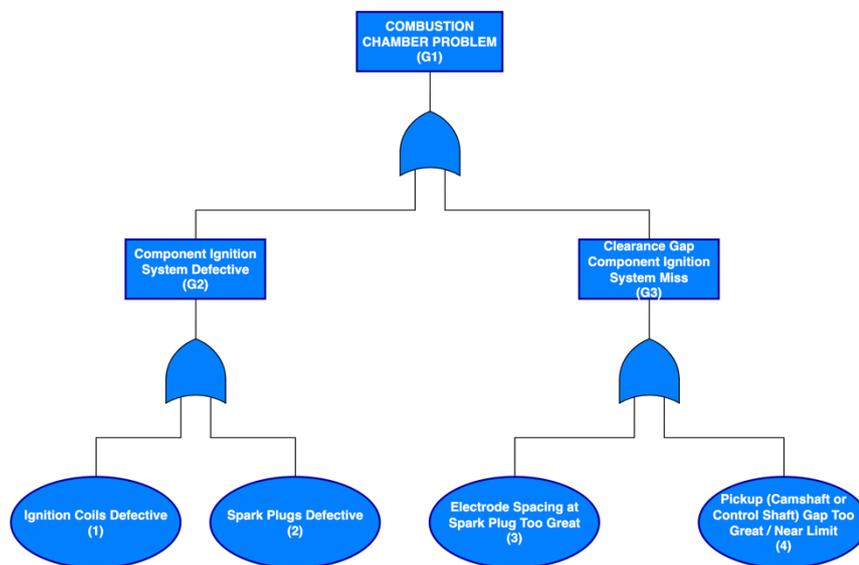


Gambar 4.14 Perhitungan Probabiitas Risiko *Cable Short* (MV)

### 4.3.5 Combustion Chamber Problem

*Combustion chamber* merupakan ruang bakar pada *engine* tempat terjadinya proses pembakaran dari campuran bahan bakar dan udara dengan keluaran berupa energi mekanik. Permasalahan *combustion chamber* yang terjadi di dalam pembahasan ini secara umum merupakan kondisi temperatur *combustion chamber* yang melebihi batas aman pada *engine*, dengan nilai ambang batas temperatur berada pada nilai 450°C.

Untuk mengetahui akar penyebab dari risiko *combustion chamber problem*, dilakukan analisa menggunakan metode Fault Tree Analysis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.15.



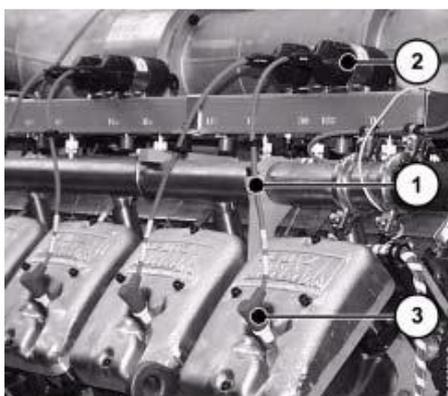
Gambar 4.15 Fault Tree Analysis (FTA) Risiko *Combustion Chamber Problem*

Berdasarkan Gambar 4.15 di atas, terlihat bahwa jika diturunkan, risiko *combustion chamber problem* diakibatkan oleh dua hal, yaitu sebagai berikut:

1. Kecacatan komponen *ignition system* (*component ignition system defective*) (G2)
2. Terdapat celah pada komponen *ignition system* (*clearance gap component ignition system miss*) (G3)

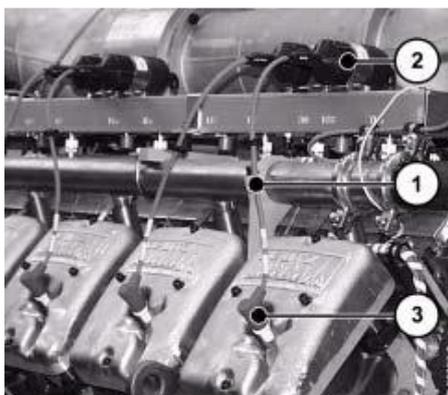
Untuk sisi kecacatan komponen *ignition system* (G2), jika diturunkan kembali, terdapat 3 hal yang teridentifikasi sebagai *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Kecacatan *ignition coils* (1). *Ignition coils* merupakan kumparan yang berfungsi untuk mengubah tegangan primer dari baterai (12V/24V) menjadi tegangan sekunder antara 15.000 – 30.000 V yang cukup kuat untuk membantu pengapian pada suatu *engine*. Gambar 4.16 menunjukkan *ignition coils* pada *engine*.



Gambar 4.16 *Ignition Coils* (No. 2)

2. Kecacatan *spark plugs* (2). *Spark plugs* atau busi merupakan komponen untuk menghantarkan arus listrik dari sistem pengapian ke ruang bakar *engine* dengan percikan api yang mampu memulai proses pembakaran pada *combustion chamber*. Gambar 4.17 menunjukkan *spark plugs* pada *engine*.



Gambar 4.17 *Spark Plugs* (No. 3)

Untuk sisi celah pada komponen *ignition system (clearance gap component ignition system miss)* (G3), terdapat 2 hal yang teridentifikasi sebagai *basic events*, yaitu sebagai berikut:

1. Jarak atau *gap* antara elektroda pada *spark plugs* terlalu jauh (4). Jarak pada elektroda busi merupakan hal yang mempengaruhi kinerja busi sebagai komponen yang bekerja untuk memulai pembakaran dengan percikan api di dalam *combustion chamber*. Jika melihat standar dari *manual book*, rekomendasi jarak adalah 0.25 mm dengan kekuatan torsi sebesar 52 Nm.
2. Jarak atau *gap pickup (camshaft atau control shaft)* terlalu jauh (5). *Pickup* merupakan salah satu komponen sensor yang membaca putaran *engine* melalui *camshaft* atau *control shaft*. Apabila *gap* terlalu jauh, sistem pengapian pada *engine* menjadi tidak sempurna. Jika melihat standar dari *manual book*, rekomendasi jarak adalah 0.75 – 1 putaran balik dari posisi tertutup penuh atau *unscrew* 270°-360°.

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menentukan *minimum cut sets* dari *basic events* yang teridentifikasi di atas dengan menggunakan metode MOCUS sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko. Proses penentuan *minimum cut sets* dengan metode MOCUS ditunjukkan dalam bentuk matriks pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Matriks MOCUS Risiko *Combustion Chamber Problem*

1	2	3	4
G1	G2	1	1
	G3	2	2
		G3	3
			4

Dari Tabel 4.16 di atas, terlihat bahwa terdapat 4 *cut sets* yang menjadi *minimum cut sets* untuk terjadinya *top events ground fault trip*. *Minimum cut sets* tersebut dijabarkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 *Minimum Cut Sets Risiko Combustion Chamber Problem*

Minimum Cut Sets	Keterangan
1	Ignition Coils Defective
2	Spark Plugs Defective
3	Electrode Spacing at Spark Plug Too Great
4	Pickup (Camshaft or Control Shaft) Gap Too Great / Near Limit

Langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menghitung probabilitas dari *events* yang dijabarkan di dalam FTA sebagaimana telah dijelaskan pada Bab 3 Bagian *Fault Tree Analysis (FTA)*.

Berdasarkan data riwayat, untuk *basic events* dari FTA *combustion chamber problem* didapat nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P('1') = \frac{\text{frekuensi akibat '1'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{2}{35} = 0.057$$

$$P('2') = \frac{\text{frekuensi akibat '2'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{29}{35} = 0.83$$

$$P('3') = \frac{\text{frekuensi akibat '3'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{1}{35} = 0.029$$

$$P('4') = \frac{\text{frekuensi akibat '4'}}{\text{total kejadian G1}} = \frac{3}{35} = 0.086$$

Kemudian dicari nilai probabilitas G2 dan G3 melalui perhitungan yang disesuaikan dengan *gate* dari masing-masing *intermediate events*. Untuk kasus di atas, G2 merupakan kombinasi antara *basic events* '1' OR '2', sedangkan G3

merupakan kombinasi antara *basic events* '3' OR '4'. Maka didapatkan nilai probabilitas sebagai berikut:

$$P(G2) = P(1 \cup 2) = 1 - [1 - P('1')][1 - P('2')]$$

$$P(G2) = 1 - [1 - 0.057][1 - 0.83] = 0.84$$

$$P(G3) = P(3 \cup 4) = 1 - [1 - P('3')][1 - P('4')]$$

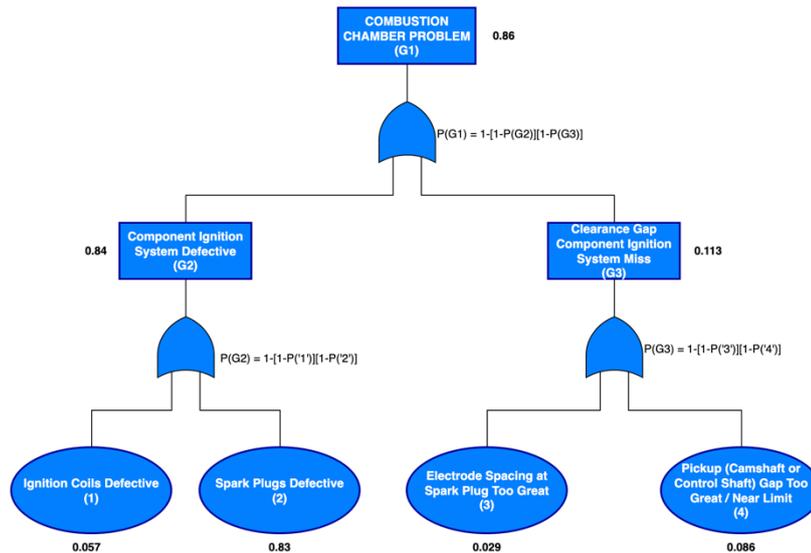
$$P(G3) = 1 - [1 - 0.029][1 - 0.086] = 0.113$$

Kemudian didapatkan nilai probabilitas dari *top events combustion chamber problem* dengan perhitungan sebagai berikut:

$$P(G1) = P(G2 \cup G3) = 1 - [1 - P(G2)][1 - P(G3)]$$

$$P(G1) = 1 - [1 - 0.84][1 - 0.113] = 0.86$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai probabilitas *top events cable short (MV)* adalah sebesar 0.86. Proses perhitungan di atas dapat digambarkan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Perhitungan Probabilitas Risiko *Combustion Chamber Problem*

#### **4.4 Tahap Mitigasi Risiko**

Penyusunan rencana mitigasi dari risiko-risiko kritikal dilaksanakan melalui *Focus Group Discussion* (FGD) yang diikuti oleh pemegang jabatan struktural dan operasional di *power plant* Rantau Field, serta dari pihak PT. Trakindo Utama yang melaksanakan pemeliharaan *generator set* sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.7.

FGD dilaksanakan pada tanggal 1 November 2021 dengan tempat di Ruang Rapat Fungsi RAM Rantau Field, dengan salah satu dari peserta FGD menjadi notulen untuk mencatatkan hasil FGD dalam bentuk risalah rapat. Pembahasan dalam FGD berfokus pada langkah-langkah mitigasi dari setiap *basic event* yang teridentifikasi pada tahap FTA dari setiap risiko kritikal yang ada di *power plant*. Penjabaran dan penentuan langkah mitigasi tersebut dilakukan dengan mengacu pada peraturan dan standar yang ditetapkan perusahaan, kajian literatur yang juga dibawa oleh masing-masing peserta FGD, *manual book* dari peralatan yang menjadi objek pembahasan, dan juga berdasarkan pengalaman yang dialami oleh masing-masing peserta selama bekerja dan menangani risiko yang dimaksud.

Hasil dari FGD berupa langkah-langkah mitigasi dari setiap *basic event* nantinya akan digunakan oleh Penulis untuk ditindaklanjuti dengan menentukan prioritas langkah mitigasi yang akan diterapkan dengan beberapa pertimbangan, dari waktu implementasi, estimasi biaya, dan juga dikaitkan dengan hasil analisa metode FTA dan MOCUS yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya.

Pada bagian ini, akan dijelaskan temuan risiko operasional yang kritikal berdasarkan Tahap Identifikasi Sumber Penyebab Risiko serta rencana mitigasi dari setiap risiko kritikal yang teridentifikasi pada penelitian kali ini yang telah dikaitkan dengan hasil FTA dan MOCUS pada bagian sebelumnya.

##### **4.4.1 Human Error**

Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan analisa risiko *human error* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan dilanjutkan dengan pencarian *minimum cut sets* dengan menggunakan

metode MOCUS yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9. Berdasarkan hasil analisa dari kedua metode di atas, terlihat bahwa *basic event no underground cable marker* (2 dan 4) dan *basic event no technical drawing* menjadi *basic event* yang perlu diprioritaskan untuk dimitigasi, karena jika *basic event* tersebut dieliminasi risikonya, *top event* berupa *human error* tidak akan terjadi. Hal yang dapat dilakukan untuk mitigasi dari *basic event* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Untuk *cut set no underground cable marker* (2 dan 4), dilakukan pemberian penanda jalur kabel, khususnya kabel bawah tanah, dengan standar tercantum pada Tata Kerja Individu (TKI) Menanam Kabel Bawah Tanah No. C-038/A2.4/EP2200/2014 Bagian V. Instruksi Kerja Poin 5.1.9. Jika dilihat dari *minimum cut sets* dan FTA, terlihat bahwa dengan terpenuhinya faktor penanda jalur kabel, *top events human error* tidak dapat terjadi (syarat terjadinya *top event* menjadi tidak terpenuhi). Pemberian penanda jalur kabel bisa dilakukan di sepanjang kabel bawah tanah Rantau Field sehingga keberadaan jalur kabel bawah tanah dapat teridentifikasi.
2. Untuk *cut set no technical drawing* (1), perlu dilakukan pemetaan jalur kabel bawah tanah Rantau Field. Selain pemberian penanda jalur kabel, informasi keberadaan jalur kabel dalam bentuk gambar juga diperlukan untuk mengetahui jalur kabel secara keseluruhan. Hal ini akan membantu dalam pemberian informasi secara garis besar antara pelaksana pekerjaan dengan Tim Pemeliharaan sehingga perencanaan pelaksanaan pekerjaan dan penentuan lokasi dapat direncanakan dan didiskusikan dengan lebih baik.

Solusi pemberian penanda kabel yang dijelaskan di atas memerlukan waktu dalam implementasinya, sehingga paralel dengan penerapan solusi di atas, mitigasi yang dapat dilakukan untuk mencegah terjadinya *top event* (sebagai solusi jangka pendek) adalah dengan melakukan hal-hal sebagai berikut:

1. Untuk mitigasi *cut set no communication between workers and maintenance team and no underground cable marker* (3, 4), perlu dilakukan perbaikan dari sisi komunikasi antara pelaksana pekerjaan

dengan Tim Pemeliharaan dan Operasional Jaringan Transmisi PT. Pertamina EP Rantau Field. Berdasarkan FTA, terlihat bahwa salah satu yang menjadi penyebab terjadinya kegagalan adalah tidak tersampainya informasi keberadaan jalur kabel karena tidak adanya komunikasi antara pelaksana pekerjaan dengan Tim Pemeliharaan Rantau Field sebagai pemegang informasi. Diharapkan dengan perbaikan sisi komunikasi, pekerjaan yang dilakukan di sekitar jalur kabel bawah tanah dapat dilaksanakan dengan aman.

Pada dasarnya solusi yang diusulkan di atas memungkinkan untuk dilaksanakan sehingga seluruh *basic event* yang teridentifikasi dapat dimitigasi dengan baik untuk mencegah risiko *human error*. Namun *basic event no underground cable marker* menjadi prioritas untuk ditindaklanjuti lebih lanjut jika melihat hasil analisa FTA dan MOCUS.

#### **4.4.2 Failed to Start**

Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan analisa risiko *failed to start* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan dilanjutkan dengan pencarian *minimum cut sets* dengan menggunakan metode MOCUS yang ditunjukkan pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Dari hasil analisa dengan MOCUS, didapatkan 4 *minimum cut sets* yang jika salah satunya terjadi maka akan menyebabkan terjadinya risiko *failed to start*. Berdasarkan hasil tersebut, maka keempat *cut sets* tersebut harus dimitigasi agar risiko *failed to start* dapat dicegah dan diminimalisasi risikonya. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk mitigasi dari *cut sets* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Untuk *cut sets battery flat or defective* (1), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. Perawatan baterai setiap 1500, 3000, 12000, 24000, dan 48000 jam operasi

- b. Apabila baterai mengalami masalah, dilakukan penanggulangan dengan pengecekan baterai dan penggantian unit jika diperlukan
- c. Dalam melakukan proses *charging* pada baterai, terdapat parameter yang perlu diperhatikan sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Parameter *Charging* Baterai Genset

Battery acid density	Charge status	Normal	Tropical
	well charged	1.28 kg/l	1.23 kg/l
	semi-charged (re-charge)	1.20 kg/l	1.12 kg/l
	discharged (recharge, renew if necessary)	1.12 kg/l	1.08 kg/l
Spark plug	Electrode gap		0.25 mm

- 2. Untuk *cut set starter stuck or defective* (2), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. Pengecekan *starter* dan *ring gear* setiap 12000, 24000, dan 48000 jam operasi
  - c. Apabila *starter* mengalami masalah, dilakukan penanggulangan dengan melakukan pengecekan, perbaikan, atau penggantian unit jika diperlukan
- 3. Untuk *cut set power supply to unit terminal box interrupted* (3), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. Pengecekan *engine side fittings* dan *instrument control* setiap 24000 dan 48000 jam operasi

- c. Pengecekan *ignition time* setiap 3000, 12000, 24000, dan 48000 jam operasi
- d. Apabila *power supply* ke *terminal box unit* mengalami masalah, dilakukan penanggulangan dengan melakukan pengecekan *cable harness* dan perbaikan titik yang mengalami *short*, atau penggantian unit jika diperlukan.

Jika melihat solusi di atas, seluruh solusi yang ada dapat diimplementasikan karena merupakan pemeliharaan yang bersifat pencegahan (*preventive maintenance*). Tim *Maintenance* Rantau Field dapat diarahkan untuk melaksanakan pemeliharaan di atas secara tertib untuk mencegah terjadinya *top event failed to start* di kemudian hari.

#### 4.4.3 Ground Fault Trip

Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan analisa risiko *ground fault trip* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan dilanjutkan dengan pencarian *minimum cut sets* dengan menggunakan metode MOCUS yang ditunjukkan pada Tabel 4.12 dan Tabel 4.13. Dari hasil analisa dengan MOCUS, didapatkan 4 *minimum cut sets* yang menjadi syarat minimum terjadinya risiko *ground fault trip*. Namun jika dianalisa lebih lanjut dari *minimum cut sets* yang teridentifikasi, tindak lanjut terhadap *basic event no cable protection cover* (1) dan *poor panel isolation from external disturbances* (3) cukup untuk dapat mencegah terjadinya risiko *ground fault trip*. *No cable protection cover* (1) berkontribusi terhadap 3 *cut sets* yang didapatkan yang jika ditindaklanjuti maka peluang terjadinya risiko dari *cut sets* tersebut dapat dieliminasi. Salah satu *cut set* lainnya dapat dicegah dengan tindak lanjut *basic event poor panel isolation from external disturbances*.

Hal-hal yang dapat dilakukan untuk mitigasi risiko *ground fault trip* adalah sebagai berikut:

1. Penggantian kabel *overhead* tipe AAAC (*bare cable*) dengan kabel AAACS (kabel dengan isolasi pelindung) sehingga kabel *overhead* yang

beroperasi di Rantau Field adalah kabel yang terlindung dari gangguan lingkungan di sekitar kabel *overhead* untuk mencegah terjadinya *top event* akibat *basic event no cable protection cover* (1) yang berkontribusi dalam 3 *cut sets* sebagaimana dijabarkan pada Tabel 4.13. Jika mengamati *minimum cut sets* atau FTA, terlihat bahwa penerapan solusi ini dapat mencegah terjadinya *intermediate event overhead cable fault* (G2). Gambar 4.19 menunjukkan ilustrasi kabel AAACS dengan isolasi pelindung kabel. Berdasarkan hasil perhitungan internal, biaya material yang diperlukan untuk penerapan solusi ini berada pada nilai sekitar IDR 1,250,000,000.



Gambar 4.19 Ilustrasi Kabel AAACS

2. Memastikan tidak ada sela pada panel yang memungkinkan hewan untuk masuk ke dalam panel dan memastikan panel selalu dalam kondisi tertutup rapat ketika sedang aktif. Hal ini dapat menjadi solusi untuk mencegah terjadinya *intermediate event panel fault* (G3) akibat *cut sets* (2, 3), yaitu *panel fault* akibat terjadi kontak antara komponen panel dengan hewan yang masuk ke dalam panel. Solusi ini dapat dilakukan dengan penambahan *seal*, seperti *seal* karet pada sela-sela panel yang berpotensi menjadi jalan masuk hewan ke dalam panel.

Jika melihat langkah mitigasi di atas, solusi nomor 2 memungkinkan untuk dapat diterapkan karena materialnya yang umum ditemui dan mudah

diimplementasikan. Solusi nomor 1 selain biayanya yang tidak murah, akan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk proses pengadaan material yang dibutuhkan, sehingga solusi tersebut dapat menjadi solusi jangka panjang dalam mitigasi risiko *ground fault trip*. Dalam rentang waktu hingga solusi nomor 1 diimplementasikan, terdapat hal-hal lainnya yang dapat dilakukan untuk mitigasi 3 *cut sets* yang dikontribusikan oleh *basic event no cable protection cover* (1), yaitu dengan mitigasi terhadap *basic event* pasangan dari *basic event no cable protection cover* (1) yang berkontribusi terhadap ketiga *cut sets* tersebut, yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mitigasi *cut set tree branches disturbance and no cable protection cover* (4, 1), sebelum terimplementasikannya mitigasi penggantian kabel AAAC menjadi AAACS, hal yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *clearing* area sekitar jalur kabel *overhead* dari dahan pohon yang berpotensi menyentuh kabel *overhead*. Solusi ini dapat diimplementasikan secara rutin sebagai tindakan pencegahan dengan biaya yang murah (pekerjaan dapat dilakukan secara swakelola).
2. Untuk mitigasi *cut set woods brought by river flow and no cable protection cover* (5, 1), sebelum terimplementasikannya mitigasi penggantian kabel AAAC menjadi AAACS, hal yang dapat dilakukan adalah dengan meninggikan jalur kabel *overhead* yang menyeberang sungai. Kondisi saat ini posisi ketinggian kabel masih memungkinkan terjadinya gangguan dari bongkahan kayu yang terbawa arus sungai, khususnya jika terjadi kenaikan debit dan level air sungai. Pelaksanaan solusi ini dapat dilakukan dengan menggunakan material-material penyangga kabel yang ada di Rantau Field dan dilaksanakan secara swakelola untuk menekan biaya pelaksanaan solusi.
3. Untuk mitigasi *cut set animals disturbance and no cable protection cover* (2, 1), sebelum terimplementasikannya mitigasi penggantian kabel AAAC menjadi AAACS, hal yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan *clearing* area sekitar jalur kabel *overhead* dari hal-hal yang dapat menjadi media bagi hewan-hewan untuk bisa naik hingga ke kabel

*overhead* (seperti pohon-pohon yang bisa menjadi media bagi monyet untuk naik ke atas kabel *overhead*).

#### 4.4.4 Cable Short (MV)

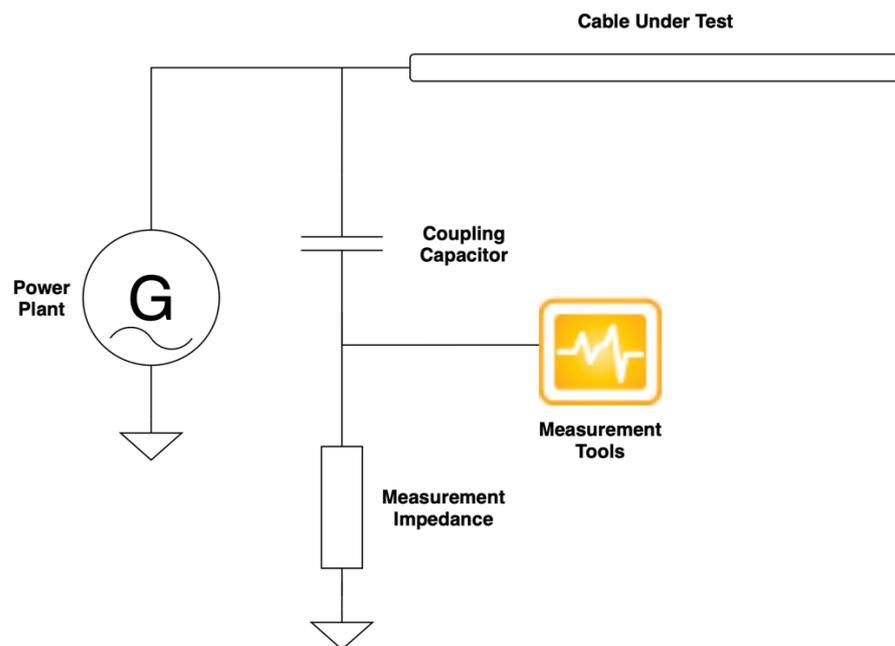
Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan analisa risiko *cable short* (MV) dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 dan dilanjutkan dengan pencarian *minimum cut sets* dengan menggunakan metode MOCUS yang ditunjukkan pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15. Dari hasil analisa dengan MOCUS, didapatkan 3 *minimum cut sets* yang menjadi syarat terjadinya risiko *cable short* (MV). Hal-hal yang dapat dilakukan sebagai langkah mitigasi dari seluruh *cut sets* tersebut adalah sebagai berikut:

1. Untuk *cut set poor execution quality* (1), hal yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan pekerjaan penyambungan kabel sesuai dengan prosedur yang berlaku, sesuai dengan standar, dan dilakukan oleh tim yang memiliki kualifikasi yang sesuai dengan pekerjaan yang dilaksanakan. Pekerjaan penyambungan kabel ini diatur di dalam Tata Kerja Individu (TKI) Penyambungan Kabel Listrik Bawah Tanah (*Underground Cable*) No. C-383/A2/EP3200/2020-S9 Bagian IV Kualifikasi Pelaksana dan Bagian V Instruksi Kerja.
2. Untuk *cut set poor quality material* (2), hal yang dapat dilakukan adalah dengan memastikan material penyambungan yang digunakan memiliki kualitas yang baik. Perusahaan sudah memiliki pedoman mengenai pemilihan material dalam proses pengadaan untuk menyeleksi *manufacturer/brand* yang ada di pasar di dalam Pedoman Pengelolaan Preferred Manufacturer List (PML) No. A-009/EP0600/2020-S9.
3. Untuk *cut set high temperature of environment/soil and partial discharge* (2, 3), dengan mencegah terjadinya salah satu *basic event*, dapat mencegah terjadinya *intermediate event* yang menjadi syarat terjadinya *top event*. Kondisi lingkungan yang panas menjadi faktor yang sulit untuk dikendalikan, sehingga hal yang dapat dimonitor saat ini adalah faktor *partial discharge*. Salah satu hal yang bisa dilakukan

adalah dengan melakukan *partial discharge monitoring* pada jalur kabel transmisi yang ada di Rantau Field. Perlu dilakukan pengukuran *partial discharge* pada kabel *underground* tegangan menengah sebagai metode untuk identifikasi dan evaluasi kondisi insulasi kabel. Terdapat dua pilihan tipe alat yang bisa digunakan, yaitu sebagai berikut:

- a. Alat ukur *portable* yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran secara berkala (3 bulan sekali, dengan pertimbangan riwayat kejadian kegagalan berulang di Rantau Field terjadi dalam kurun waktu satu tahun)
- b. Alat ukur *partial fix*, melakukan pengukuran secara kontinu dan *real-time*

Pengukuran dilakukan agar potensi kerusakan atau kegagalan insulasi kabel dapat terdeteksi secara dini. Gambar 4.20 menunjukkan konfigurasi umum pengukuran *partial discharge* pada kabel.



Gambar 4.20 Diagram Konfigurasi Pengukuran *Partial Discharge* Kabel

#### 4.4.5 Combustion Chamber Problem

Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan analisa risiko *combustion chamber problem* dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 dan dilanjutkan dengan pencarian *minimum cut sets* dengan menggunakan metode MOCUS yang ditunjukkan pada Tabel 4.16 dan Tabel 4.17. Dari hasil analisa menggunakan metode MOCUS, didapatkan 4 *minimum cut sets* yang menjadi syarat terjadinya risiko *combustion chamber problem*. Hal-hal yang dapat dilakukan untuk memitigasi *cut sets* tersebut untuk mencegah risiko *combustion chamber problem* adalah sebagai berikut:

1. Untuk *cut set ignition coils defective* (1), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. Pengecekan *ignition time* setiap 3000 jam operasi
  - c. Apabila *ignition coils* mengalami masalah, penanggulangan dilakukan dengan pengecekan dan penggantian unit jika diperlukan
2. Untuk *cut set spark plugs defective* (2), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
  - a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. Pengecekan *spark plugs* setiap 1500 jam operasi
  - c. Pengecekan *ignition time* setiap 3000 jam operasi
  - d. Penggantian *spark plugs* setiap 3000, 12000, 24000, dan 48000 jam operasi
  - e. Apabila *spark plugs* mengalami masalah, penanggulangan dilakukan dengan pengecekan dan penggantian unit jika diperlukan
3. Untuk *cut set electrode spacing at spark plug too great* (3), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berkala berdasarkan jam jalan dan

*troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. Pengecekan *spark plugs* setiap 1500 jam operasi
  - c. Penggantian *spark plugs* setiap 3000, 12000, 24000, dan 48000 jam operasi
  - d. Apabila jarak *electrode* pada *spark plugs* terlalu renggang, penanggulangan dilakukan dengan pengaturan ulang kembali jarak *electrode* atau penggantian *spark plugs* jika diperlukan
4. Untuk *cut set pickup (camshaft or control shaft) gap too great or near limit* (4), hal yang dapat dilakukan untuk menjaga kehandalan dan *life time* dari komponen adalah dengan melakukan perawatan berkala berdasarkan jam jalan dan *troubleshoot* ketika mulai menunjukkan masalah, dengan ketentuan sebagai berikut:
- a. *Visual inspection* pada sistem satu kali setelah 50 jam operasi
  - b. *Test dan function run* setiap 3000, 12000, 24000, dan 48000 jam operasi
  - c. Apabila sensor bermasalah, penanggulangan dilakukan dengan pengaturan ulang kembali jarak sensor atau penggantian unit bila diperlukan

Jika melihat solusi di atas, seluruh solusi yang ada dapat diimplementasikan karena merupakan pemeliharaan yang bersifat pencegahan (*preventive maintenance*). Tim *Maintenance* Rantau Field dapat diarahkan untuk melaksanakan pemeliharaan di atas secara tertib untuk mencegah terjadinya *top event failed to start* di kemudian hari.

#### **4.4.6 Risk Score dan RPN Residual Hasil Implementasi Mitigasi Risiko**

Pada bagian sebelumnya, telah dijelaskan mengenai mitigasi-mitigasi risiko kritikal yang bisa dilakukan untuk mencegah risiko kritikal terjadi di Power Plant Rantau Field. Jika mitigasi-mitigasi tersebut diimplementasikan, Risk Score dan RPN dari risiko kritikal yang teridentifikasi sebelumnya, diperkirakan dapat

mengalami penurunan. Nilai Risk Score dan RPN residual didapatkan dari nilai *Likelihood*, *Impact*, dan *Detection* residual yang ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 RPN dan Risk Score Residual Implementasi Mitigas Risiko Kritisal Power Plant Rantau Field

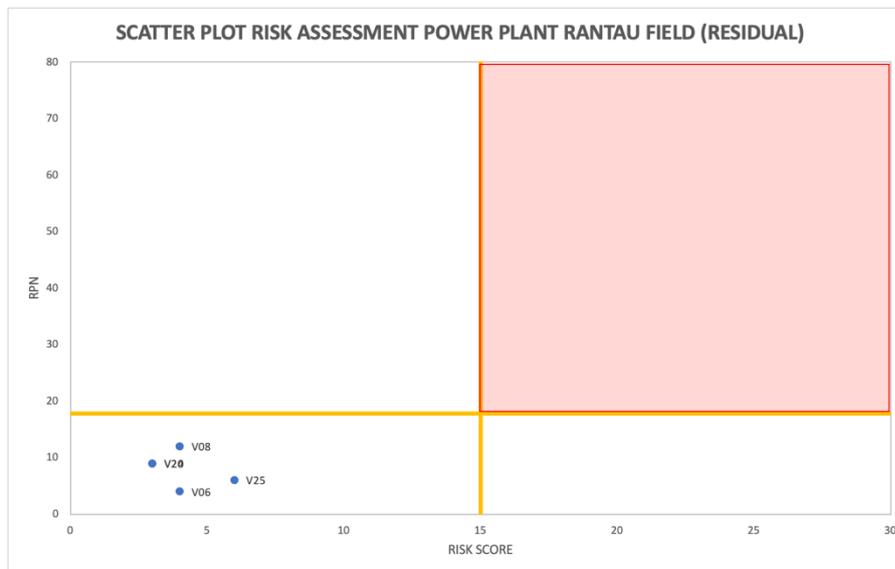
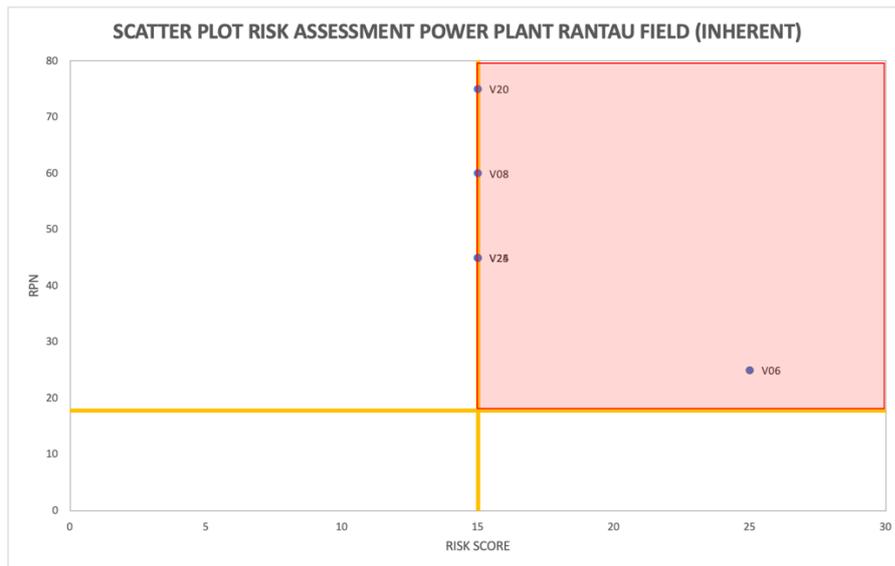
Kode	Variabel Kegagalan	Likelihood	Impact	Detection	Risk Score	RPN
V20	Human Error	1	3	3	3	9
V08	Failed to Start	2	2	3	4	12
V24	Ground Fault Trip	1	3	3	3	9
V25	Cable Short (MV)	2	3	1	6	6
V06	Combustion Chamber Problem	2	2	1	4	4

Perbandingan nilai Risk Score dan RPN inherent (sebelum implementasi mitigasi risiko) dan residual (estimasi setelah implementasi mitigasi risiko) ditunjukkan pada Tabel 4.20.

Tabel 4.20 Perbandingan Risk Score dan RPN Inherent dan Residual Risiko Kritisal Power Plant Rantau Field

Kode	Variabel Kegagalan	Risk Score Inherent	Risk Score Residual	RPN Inherent	RPN Residual
V20	Human Error	15	3	75	9
V08	Failed to Start	15	4	60	12
V24	Ground Fault Trip	15	3	45	9
V25	Cable Short (MV)	15	6	45	6
V06	Combustion Chamber Problem	25	4	25	4

Perubahan pada risiko kritisal dilihat dari sisi Risk Score dan RPN juga dapat dilihat pada *scatter plot inherent* (sebelum implementasi mitigasi risiko) dan *scatter plot residual* (mitigasi risiko diimplementasikan) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Scatter Plot Inherent dan Residual Risiko Kritis Power Plant Rantau Field

Dari Gambar 4.21 di atas, terlihat bahwa jika yang telah dijabarkan di bagian sebelumnya diimplementasikan, risiko kritis yang sebelumnya berada pada kuadran kritis (warna merah) dengan indikasi RPN dan Risk Score yang lebih tinggi dari nilai kritis, menjadi berada pada kuadran dengan RPN dan Risk Score lebih rendah dari nilai kritis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bagian ini, akan dibahas mengenai kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang telah dilakukan dan saran dari Penulis.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan hasil penelitian yang didapatkan, yaitu sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode RFMEA, dari 27 risiko yang teridentifikasi, terdapat 5 risiko yang masuk ke dalam kategori risiko kritis, yaitu *human error*, *failed to start*, *ground fault trip*, *cable short (MV)*, dan *combustion chamber problem*.
2. Berdasarkan hasil analisa 5 risiko kritis yang didapatkan sebelumnya dengan menggunakan metode FTA dan *Method to Obtain Minimal Cut Sets (MOCUS)*, didapatkan akar penyebab dari masing-masing risiko kritis, yaitu sebagai berikut:
  - a. *Human error*, dengan *minimum cut sets no technical drawing (1)*, *no underground cable marker (1,2)*, dan *no communication between workers and maintenance team and no underground cable marker (3, 4)*.
  - b. *Failed to start*, dengan *minimum cut sets battery flat or defective (1)*, *starter stuck or defective (2)*, dan *power supply to unit terminal box interrupted (3)*.
  - c. *Ground fault trip*, dengan *minimum cut sets tree branches disturbance and no cable protection cover (4, 1)*, *woods brought by river flow and no cable protection cover (5, 1)*, *animals disturbance and no cable protection cover (2, 1)*, dan *animals disturbance and poor panel isolation from external disturbances (2, 3)*.

- d. *Cable short* (MV), dengan *minimum cut sets poor execution quality* (1), *poor material quality* (2), *high temperature of environment/soil and partial discharge* (3, 4).
  - e. *Combustion chamber problem*, dengan *minimum cut sets ignition coils defective* (1), *spark plugs defective* (2), *electrode spacing at spark plugs too great* (3), dan *pickup (camshaft or control shaft) gap too great/near limit* (4).
3. Dari beberapa akar penyebab yang teridentifikasi, berdasarkan hasil FGD yang dilakukan, terdapat beberapa langkah-langkah mitigasi yang dapat dilakukan, yaitu sebagai berikut:
- a. *Human error*, langkah mitigasi yang menjadi prioritas adalah pemberian penanda jalur kabel (khususnya kabel bawah tanah). Paralel dengan implementasi solusi tersebut, langkah-langkah mitigasi lainnya yang dapat dijalankan untuk pencegahan risiko adalah dengan perbaikan dari sisi komunikasi antara pelaksana pekerjaan dengan Tim Pemeliharaan dan Operasional Jaringan Transmisi PT. Pertamina EP Rantau Field, dan pemetaan jalur kabel bawah tanah Rantau Field.
  - b. *Failed to start*, dapat dimitigasi dengan perawatan berkala berdasarkan jam jalan (sebagaimana dijelaskan di Bab 4 untuk setiap komponen yang berkontribusi dalam risiko kegagalan), serta *troubleshoot* pada peralatan jika mengalami gangguan atau penggantian peralatan dimaksud jika perlu penggantian.
  - c. *Ground fault trip*, langkah mitigasi yang menjadi prioritas adalah penggantian kabel *overhead* tipe AAAC (*bare cable*) dengan kabel AAACS (kabel dengan isolasi pelindung) dan memastikan tidak ada sela pada panel yang memungkinkan hewan masuk ke dalam panel (seperti dengan penambahan *seal* karet). Karena implementasi solusi tersebut membutuhkan waktu dan biaya yang tidak sedikit, paralel dengan implementasi solusi tersebut, dapat dilakukan langkah mitigasi lainnya, yaitu melakukan *clearing* area sekitar jalur kabel *overhead* dari dahan

- pohon dan meninggikan jalur kabel *overhead* yang menyeberang sungai.
- d. *Cable short* (MV), dapat dimitigasi dengan melakukan pekerjaan penyambungan kabel sesuai dengan prosedur yang berlaku dan sesuai standar serta oleh tim yang memiliki kualifikasi sesuai, memastikan material penyambungan yang digunakan memiliki kualitas yang baik sesuai pedoman *Preferred Manufacturer List* (PML), dan monitoring parameter *partial discharge* secara berkala.
  - e. *Combustion chamber problem*, dapat dimitigasi dengan perawatan berkala berdasarkan jam jalan (seperti dijelaskan di Bab 4 untuk setiap komponen yang berkontribusi dalam risiko kegagalan), serta *troubleshoot* pada peralatan jika mengalami gangguan atau penggantian peralatan dimaksud jika perlu penggantian.
4. Pembahasan mengenai manajemen risiko Power Plant Rantau Field (identifikasi dan analisa risiko kritical dan mitigasi risiko kritical) pada penelitian ini berfokus dan dibatasi pada pembahasan dari sisi teknis. Pembahasan dari sisi finansial tidak masuk ke dalam lingkup pembahasan penelitian ini.

## 5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan mendapatkan kesimpulan, terdapat beberapa saran kepada perusahaan yang dapat dijadikan sebagai bahan awal untuk melakukan perbaikan operasional pada fasilitas produksi yang ada, yaitu sebagai berikut:

1. Menerapkan solusi-solusi pada penelitian ini dengan harapan kegagalan yang terjadi di *Power Plant* dapat diminimalisasi, sehingga mengurangi kerugian PT. Pertamina EP Rantau Field akibat kegagalan di *Power Plant*.

2. Melakukan evaluasi dan penilaian berkala terhadap sistem-sistem major di Rantau Field, khususnya sistem-sistem yang sering mengalami kegagalan.
3. Menerapkan metode yang sama dengan yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui risiko-risiko kritikal yang ada di fasilitas atau sistem lainnya. Hal ini akan mempermudah para pekerja di lapangan dalam melakukan prioritas pekerjaan pemeliharaan di fasilitas produksi, sehingga risiko kritikal yang berdampak signifikan dapat termonitor sejak dini dan dapat termitigasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alahäivälä, Antti dkk. (2017), "System-Level Value of a Gas Engine Power Plant in Electricity and Reserve Production", *Energies* 2017.
- Alrifaeey, Moath dkk. (2019), "Identification and Prioritization of Risk Factors in an Electrical Generator Based on the Hybrid FMEA Framework", *Energies* 2019.
- Alsaffar, Iman dan Akram Ezzat. (2020), "Qualitative Risk Assessment of Combined Cycle Power Plant Using Hazards Identification Technique", *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, hal. 284-293.
- Akinode, John Lekan dan Oloruntoba S. A. (2017), "Algorithms for Reducing Cut Sets in Fault Tree Analysis", *International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering*, Vol. 6, Issue 12, hal. 36-41.
- Carbone, Thomas A. dan Donald D. Tippet. (2004), "Project Risk Management Using the Project Risk RFMEA", *Engineering Management Journal*, vol. 16, no. 4, hal. 28-35.
- Condez-Godziemba, Cyril. (2012), *Transmission System Operational Risk Assessment and Mitigation*, Thesis, KTH Royal Institute of Technology.
- Cooper, Dale dkk. (2004), *Project Risk Management Guidelines: Managing Risk in Large Projects and Complex Procurements*, John Wiley & Sons, New York.
- Darmawan, A. (2011). Perancangan Pengukuran Risiko Operasional Pada Perusahaan Pembiayaan dengan Metode Risk Breakdown Structure (RBS) dan Analytic Network Process (ANP). Depok.
- Engblom, Kenneth. (2016), "Power Generation-Combustion Engines-Optimal Source of Flexibility", *ResearchGate*.

- Esterline, J. W. (1911), "Some Fundamental Principles of Power Plant Design", *Proceedings of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. 31, issue 1.
- Frame, J. Davidson (2003). *Managing Risk in Organisations- A Guide For Managers*. San Fransisco. Jossey Bass- A wiley imprint.
- Firdaus, Itsna Affandi. (2017), *Manajemen Risiko Operasional Onshore Processing Facility dengan Menggunakan Risk Failure Mode and Effect Analysis dan Fault Tree Analysis*, Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Fussell, J. B. dan W. E. Vesely. (1972), "A New Methodology for Obtaining Cut Sets for Fault Trees", *American Nuclear Society Transactions*, Vol. 15, No. 1, hal. 262-263.
- Ibrahim, Thamir Khalid dkk. (2019), "Study of the Performance of the Gas Turbine Power Plants from the Simple to Complex Cycle: A Technical Review", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, hal. 228-250.
- Isdarto, Danung. (2014), "Analisa Risiko Kegagalan Operasional Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Menggunakan Risk Failure Mode and Effect Analysis", *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)*, hal. B-215 – B-224.
- Jozi, Seyed Ali, Shabnam Saffarian dan Mohsen Shafiee. (2012), "Environmental Risk Assessment of a Gas Power Plant Exploitation Unit Using Integrated TOP-EFMEA Method", *Polish Journal of International Studies*, vol. 21, no. 1, hal. 95-105.
- Larson, Erik. W. dan Clifford. F. Gray. (2000), *Project Management: The Managerial Process*, 5<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill, New York.
- Mack, James E dan Shoemaker, Thomas E. (2017), *The Lineman's and Cableman's Handbook: 13th Edition*, McGraw-Hill Education, New York.
- Moran, Michael J dkk. (2003), *Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer*. John Wiley & Sons Inc, New York.

- Niemi, Seppo. (1997), *Survey of Modern Power Plants Driven by Diesel and Gas Engine*. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, Biologinkuja.
- MWM. *Gas Engine Power Plants: Operation of Gas Engine Power Plant*. <http://mvm.hu/tevekenysegunk-en/power-plants/gas-engine-power-plants/?lang=en>. (diakses Desember 2020).
- MWM. (2014), *Power Plants Layout with Gas Engine (Planning and Installation Notes)*, Caterpillar Energy Solutions, Mannheim.
- Prakash, K., Lallu, A., Islam, F. R., dan Mamun, K. A. (2016), “Review of Power System Distribution Network Architecture”, *2016 3<sup>rd</sup> Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering*, hal. 124-130.
- Pulkrabek, Willard W. (2004), *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Prentice Hall, New Jersey.
- Qi-quan, Wang dan Yan Xiang-dou. (2017), “Risk Analysis and Control Measure of Gas Power Generation Enterprise”, *International Journal of Science and Qualitative Analysis*, hal. 15-22.
- Susilo, Leo J. dan Victor Riwu Kaho. (2018), *Manajemen Risiko: Panduan untuk Risk Leaders dan Risk Practicioners Berbasis ISO 31000: 2018*, PT. Grasindo, Jakarta.
- Vaughan, Emmett J. dan Therese Vaughan. (2008), *Fundamentals of Risk and Insurance*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Vesely, W. E dkk. (1981), *Fault Tree Handbook*, System and Reliability Research Office of Nuclear Regulatory Research U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C.