

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENYEBAB KEBOCORAN PIPA (*CRUDE OIL*) MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA) DI PT PERTAMINA  
EP PENDOPO FIELD**



NAMA : WITRI ARMELITA

NIM : 10011282025055

**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

# **SKRIPSI**

## **ANALISIS PENYEBAB KEBOCORAN PIPA (*CRUDE OIL*) MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA) DI PT PERTAMINA EP PENDOPO FIELD**

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar (S1)  
Sarjana Kesehatan Masyarakat pada Fakultas Kesehatan Masyarakat  
Universitas Sriwijaya



NAMA : WITRI ARMELITA

NIM : 10011282025055

**PROGRAM STUDI KESEHATAN MASYARAKAT  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2024**

**KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA  
FAKULTAS KESEHATAN MASYARAKAT  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
Skripsi, 12 Juli 2024**

**Witri Armelita: Dibimbing Oleh Anita Camelia, S.K.M., M.KKK**

**Analisis Penyebab Kebocoran Pipa (*Crude Oil*) Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) di PT Pertamina EP Pendopo Field**

xvi + 97 halaman 14 tabel + 17 gambar + 10 lampiran

### **ABSTRAK**

PT Pertamina EP Pendopo Field merupakan perusahaan BUMN yang bergerak di bidang minyak, gas, dan energi baru dan terbarukan. Minyak dan gas adalah sumber utama konsumsi bahan bakar dunia. Sebagian besar minyak dan gas diangkut dari satu lokasi ke lokasi lain melalui jaringan pipa. Integritas jaringan pipa menjadi kepentingan utama perusahaan minyak dan gas, lembaga pemerintahan, konsumen, dan pemangku kepentingan lainnya karena potensi konsekuensi yang merugikan terkait dengan kesehatan masyarakat, keselamatan, dan kerugian yang besar jika terjadi kegagalan sistem. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mengidentifikasi akar permasalahan dari kebocoran pipa minyak mentah di PT Pertamina EP Pendopo Field dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Pendekatan kualitatif dengan melakukan analisis menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Informasi diperoleh melalui wawancara mendalam dengan informan ahli dan informan kunci, observasi, dan telaah dokumen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sepanjang tahun 2023 terjadi 57 kebocoran pipa minyak mentah dengan penyebab utamanya adalah faktor eksternal berupa korosi dan kerusakan dari pihak ketiga. Berdasarkan hasil *Fault Tree Analysis* (FTA), akar penyebab masalah atau kejadian dasar yang didapatkan dari hasil *Fault Tree Analysis* (FTA) antara lain media korosif berupa air, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>, berbagai penyebab korosifitas tanah, gangguan dari kegiatan penggalian, kerusakan akibat kontak dengan kendaraan/peralatan, sabotase dan tindakan kriminal berupa pencurian. Dapat disimpulkan bahwa terdapat 17 *basic event* penyebab kebocoran pipa (*crude oil*) di PT Pertamina EP Pendopo Field dengan 8 *minimal cut set* kombinasi kejadian kejadian.

**Kata Kunci** : Kebocoran Pipa (*Crude Oil*), *Fault Tree Analysis* (FTA), *Pipeline*, *Basic Event*, Minyak dan Gas (Migas)

**Kepustakaan** : 49 (2004-2023)

**OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH**  
**FACULTY OF PUBLIC HEALTH**  
**SRIWIJAYA UNIVERSITY**  
*Thesis, 12 July 2024*

**Witri Armelita: supervised by Anita Camelia, S.K.M., M.KKK**

***Analysis Of The Causes Of Pipeline Leakage (Crude Oil) Using Fault Tree Analysis (FTA) Method In PT Pertamina EP Pendopo Field***  
*xvi + 97 pages+14 tables+17 figures+10 attachments*

**ABSTRACT**

*PT Pertamina EP Pendopo Field is a state-owned company engaged in oil, gas, and renewable energy. Oil and gas are the world's main sources of fuel consumption. Most of the oil and gas being transport from one location to another through pipelines. Pipeline integrity is of primary interest to oil and gas companies, government agencies, consumer, and other stakeholders due to the adverse potential consequences related to public health, safety, and substantial losses in the event of a system failure. The purpose of this research was to analyze and identify the root cause of crude oil pipeline leakage at PT Pertamina EP Pendopo Field using the Fault Tree Analysis (FTA) method. Qualitative approach by analyzing the Fault Tree Analysis (FTA) method for this research. Information was obtained through in-depth interviews with expert informants, key informants, observation, and document review. The results showed that throughout 2023 there were 57 crude oil pipeline leaks with the main cause being external factors in the form of corrosion and damage from third parties. Based on the results of fault tree analysis (FTA), the root causes of problems or basic events obtained from the results of Fault Tree Analysis (FTA) include corrosive media in the form of water, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>, various causes of soil corrosivity, disturbance of excavation activities, damage due to contact with vehicles/equipment, sabotage and criminal acts in the form of theft. Conclusion, there are 17 basic events that cause pipe leakage (crude oil) at PT Pertamina EP Pendopo Field with 8 minimum cut sets combinations of event occurrence.*

**Keywords** : Pipe Leakage (Crude Oil), Fault Tree Analysis (FTA), Pipeline, Basic Event, Oil and Gas (Migas)

**Literature** : 49 (2004-2023)

## LEMBAR PERNYATAAN PLAGIARISME

Saya dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini dibuat dengan sejujurnya dengan mengikuti kaidah Etika Akademik FKM UNSRI serta menjamin bebas plagiarisme. Bila kemudian diketahui saya melanggar Etika Akademik maka saya bersedia dinyatakan tidak lulus/gagal.

Indralaya, 15 Juli 2024

Yang bersangkutan,



Witri Armelita

NIM. 10011182025006

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS PENYEBAB KEBOCORAN PIPA (*CRUDE OIL*)  
MENGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS*  
(FTA) DI PT PERTAMINA EPPENDOPO FIELD**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar (S1) Sarjana Kesehatan Masyarakat

Oleh :

WITRI ARMELITA

10011282025055

Indralaya, 12 Juni 2024

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat



Dr. Miswanti, S.KM, M.KM  
NIP. 197606092002122001

Pembimbing



Anita Camelia, S.K.M., M.KKK  
NIP. 198001182006042001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi ini dengan judul "Analisis Penyebab Kebocoran Pipa (*Crude oil*) Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) Di PT Pertamina EP Pendopo Field" telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Skripsi Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya pada tanggal 12 Juli 2024.

Indralaya, 12 Juli 2024

### Ketua

1. Poppy Fujianti, S.KM., M.Sc  
NIP. 199008312022032009

(  )

### Anggota :

2. Desheila Andarini, S.KM., M.Sc  
NIP. 198912202019032016
3. Anita Camelia, S.K.M, M.KKK  
NIP. 198001182006042001


(  )

(  )

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat

  
Dr. Murniantarti, S.KM, M.KM  
NIP.197606092002122001

Koordinator Program Studi  
Kesehatan Masyarakat

  
Asmaripa Any, S.Si., M.Kes  
NIP. 197909152006042005

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

### DATA PRIBADI

Nama : Witri Armelita  
NIM : 10011282025055  
Tempat/Tanggal Lahir : Pendopo, 15 Mei 2002  
Agama : Islam  
Jenis Kelamin : Perempuan  
Alamat : Jalan Baru Bendo, Kec. Talang Ubi, Kab.  
Penukal Abab Lematang Ilir (PALI)  
No. Hp/email : 08127910831/ witriwiwit15@gmail.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN

2008 – 2014 : SD Negeri 6 Talang Ubi  
2014 – 2017 : SMP Negeri 1 Talang Ubi  
2017 – 2020 : SMA Negeri 1 Talang Ubi  
2020 – Sekarang : Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas  
Sriwijaya

### PENGALAMAN ORGANISASI

2021 – 2022 : Sekretasi Departemen PPSDM HIMAPALI  
UNSRI  
2022 – 2023 : Manajer Departemen *Social Community*  
(SOSCOM) BO ESC FKM UNSRI  
2023 : Manajer Departemen Hubungan Kelembagaan  
(HK) UKM U-READ UNSRI  
2023 – 2024 : *Head of Unit Personal and Development*  
OHSa FKM UNSRI



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Penyebab Kebocoran Pipa (*Crude Oil*) Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) di PT Pertamina EP Pendopo Field” dengan baik dan lancar. Skripsi ini disusun ditujukan untuk memenuhi salah satu syarat meraih gelar Sarjana Kesehatan Masyarakat.

Dalam proses penyelesaian skripsi ini tentunya penulis mendapatkan bimbingan, arahan, serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Misnaniarti, S.K.M., M.KM selaku Dekan Fakultas Kesehatan Masyarakat
2. Ibu Anita Camelia, S.K.M., M.KKK selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bantuan, masukan, pengetahuan, dan kepercayaannya memberikan tantangan besar dalam penyelesaian penulisan skripsi ini.
3. Ibu Poppy Fujianti, S.K.M., M.Sc dan Ibu Desheilla, S.K.M., M.Sc selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran selama penyelesaian skripsi ini.
4. Seluruh staff dan karyawan Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya yang telah membantu dalam setiap tahapan skripsi ini.
5. Bapak Muhammad Nur S.W selaku *Superintendent* HSSE PT Pertamina EP Pendopo Field atas ketersediaan, penerimaan dan kepercayaan kepada penulis untuk melakukan penelitian.
6. Bapak Frans Hutapea selaku *Officer Safety* PT Pertamina EP Pendopo Field yang telah menjadi pembimbing lapangan terbaik selama penelitian, memberikan kesempatan mencoba pengalaman baru, memberikan wawasan pengetahuan dan mengarahkan penulis selama penelitian.
7. Bapak Sunarto selaku *Officer Environment*, Bapak Faiz selaku *Officer Emergency Response*, serta seluruh anggota fungsi HSSE PT Pertamina

Pendopo Field yaitu Kak Randi, Kak Wartimin, Kak Rifandi, Mba Ranti, Mba Terrin, Mba Aff, Bu Ida dan lainnya atas semua dukungan, pengalaman, pembelajaran dan motivasi selama melakukan penelitian.

8. Seluruh informan penelitian di PT Pertamina EP Pendopo Field dari fungsi RAM yaitu Pak Iwan Setiawan, Pak Meiwansyah, Pak Hamdani, Pak Jupriadi, Kak Doni serta Comrel yaitu Ibu Yulianti atas kesediaannya menjadi informan penelitian skripsi ini.
9. Pak Rudy Chendra as dosen ter-chill di FKM yang sangat berperan besar dalam memberikan arahan dan memotivasi kepada penulis sejak awal penyusunan skripsi ini hingga akhir.
10. Paling utama kedua orang tua saya yaitu Aba Mael dan Ibu Arina yang merupakan alasan utama penulis untuk tetap bertahan dan semangat mengejar impian juga saudariku tercinta Mba Wulan&suami, Alm.Kak Wahyu seta keluarga lainnya atas doa, kasih sayang, semangat, serta dukungan baik material maupun non material yang tak terhingga sampai saat ini.
11. Sahabat sekaligus keluarga baruku Nadila Ulfa yang selalu ada mendukung, memberi bantuan dan menjadi pendengar terbaik selama masa perkuliahan ini. Teman-teman perjalanan hidupku Angelique, Vijiantika, Ade Dwi, Nella dan teman-teman perkuliahan yang tidak bisa disebutkan satu persatu seluruh angkatan 2020.
12. Diri sendiri, Terimakasih untuk terus bertahan dan berjuang, maaf untuk semua keterpaksaan yang dilakukan. Teruslah berproses menjadi versi terbaik, tetap ceria dan bersemangat menjalani hidup, mengejar impian dan terakhir selalu libatkan Allah disetiap perjalanan hidupmu.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam penyusunan skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dan dapat bermanfaat dimasa yang akan datang. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Indralaya, Agustus 2024

## LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI

Sebagai sivitas akademik Universitas Sriwijaya, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Witri Armelita  
NIM : 10011182025055  
Program Studi : Ilmu Kesehatan Masyarakat  
Fakultas : Kesehatan Masyarakat  
Jenis Karya Ilmiah : Skripsi

Dengan ini menyatakan menyetujui untuk memberikan kepada Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Penyebab Kebocoran Pipa (*Crude Oil*) Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) di PT Pertamina EP Pendopo Field”.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat : di Indralaya  
Pada Tanggal : 12 Juli 2024  
Yang menyatakan,



(Witri Armelita)

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PERNYATAAN PLAGIARISME .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	5
1.3    Tujuan Penelitian.....	5
1.3.1    Tujuan Umum .....	5
1.3.2    Tujuan Khusus .....	5
1.4    Manfaat Penelitian.....	5
1.4.1    Bagi Mahasiswa .....	5
1.4.2    Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat .....	6
1.4.3    Bagi Perusahaan .....	6
1.5    Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5.1    Lingkup Lokasi .....	6
1.5.2    Lingkup waktu .....	6

1.5.3	Lingkup Materi.....	7
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>		<b>8</b>
2.1	Keselamatan dan Kesehatan Kerja.....	8
2.2	Kecelakaan Kerja.....	8
2.2.1	Faktor Penyebab Terjadinya Kecelakaan Kerja.....	9
2.2.2	Kerugian Akibat Kecelakaan Kerja.....	10
2.3	Manajemen Risiko.....	11
2.3.1	Definisi Manajemen Risiko.....	11
2.3.2	Tujuan Manajemen Risiko.....	12
2.3.3	Langkah – Langkah Manajemen Risiko.....	12
2.4	Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	17
2.4.1	Tujuan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	18
2.4.3	Langkah-Langkah <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	21
2.4.4	Simbol-Simbol <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA).....	23
2.5	Pipa.....	26
2.6	Kerusakan dan Kebocoran Pipa.....	28
2.7	Penelitian Terkait.....	31
2.8	Kerangka Teori.....	35
2.9	Kerangka Pikir.....	36
2.10	Definisi Istilah.....	37
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>		<b>38</b>
3.1	Desain Penelitian.....	38
3.2	Informan Penelitian.....	38
3.2.1	Unit Analisis.....	38
3.2.2	Informan Penelitian.....	38
3.2.3	Karakteristik Informan.....	40

3.3	Jenis, Cara Dan Alat Pengumpulan Data .....	41
3.3.1	Jenis Data .....	41
3.3.2	Cara Pengumpulan Data.....	42
3.3.3	Alat Pengumpulan Data .....	43
3.4	Validasi Data .....	43
3.5	Pengolahan, Analisis, Dan Penyajian Data .....	44
3.5.1	Pengolahan Data.....	44
3.5.2	Analisis Data .....	45
3.5.3	Penyajian Data .....	46
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN .....</b>		<b>47</b>
4.1	Gambaran Umum Tempat Penelitian .....	47
4.1.1	Sejarah Perusahaan.....	47
4.1.2	Lokasi Perusahaan.....	48
4.1.3	Visi Misi dan Tata Nilai Perusahaan.....	50
4.1.4	Logo Perusahaan .....	50
4.1.5	Sistem Manajemen Perusahaan.....	51
4.2	Hasil Penelitian.....	54
4.2.1	Karakteristik Informan .....	54
4.2.2	Informasi Umum Instalasi.....	55
4.2.3	Menentukan <i>Top Event</i> .....	58
4.2.3	Identifikasi Faktor Penyebab Kebocoran Pipa ( <i>Crude oil</i> ).....	62
4.2.4	Penggambaran <i>Fault Tree Analysis</i> .....	66
4.2.5	Menentukan <i>Cut Set Minimal</i> .....	72
<b>BAB V PEMBAHASAN .....</b>		<b>74</b>
5.1	Keterbatasan Penelitian .....	74
5.2	Pembahasan .....	74

5.2.1	Korosi ( <i>Corrosion</i> ).....	76
5.2.1.1	Korosi Eksternal ( <i>External Corrosion</i> ).....	77
5.2.1.2	Korosi Internal ( <i>Internal Corrosion</i> ) .....	80
5.2.2	Kerusakan dari Pihak Ketiga ( <i>Third Party Damage</i> ).....	82
5.2.2.1	Kerusakan Pipa Pihak Ketiga yang Tidak Disengaja ( <i>Unintentional Third-Party Damage</i> ) .....	84
5.2.2.2	Tindakan Jahat yang Disengaja ( <i>Intentional Malicious Acts</i> ) .	87
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>88</b>
6.1	Kesimpulan.....	88
6.2	Saran .....	89
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>91</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Hukum Aljabar Boole	21
Tabel 2. 2 Simbol dalam <i>Fault Tree Analysis</i>	23
Tabel 2.3 Diagram <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	26
Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu	31
Tabel 2.5 Definisi Istilah	37
Tabel 3.1 Daftar Informan Penelitian	39
Tabel 4. 1 Karakteristik Informan Ahli Penelitian	54
Tabel 4. 2 Karakteristik Informan Kunci Penelitian	54
Tabel 4. 3 Grafik Data Kebocoran Pipa Minyak Mentah Tahun 2023	59
Tabel 4. 4 Faktor penyebab kebocoran pipa ( <i>crude oil</i> ) PT Pertamina EP Pendopo Field	66
Tabel 4. 7 Deskripsi Notasi Huruf dan Angka	72
Tabel 4. 8 Cut Set Menggunakan Aljabar Boole	73



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 ISO 31000:2018 ( <i>Risk Management-Guidline</i> ).....	35
Gambar 2.2 Kerangka Berpikir .....	36
Gambar 4. 1 Lokasi PT Pertamina EP Pendopo Field .....	48
Gambar 4. 2 wilayah Kerja Stasiun Pengumpul Sopa PT Pertamina EP Pendopo Field (Sumber: Google Maps, Dokumen Perusahaan & Pribadi 2023) .....	49
Gambar 4. 3 Stasiun Pengumpul (SP) SOPA di wilayah kerja Pendopo Field ....	49
Gambar 4. 4 Bagan Organisasi PT Pertamina EP Pendopo Field.....	52
Gambar 4. 5 Struktur <i>Site Emergency Response Team</i> (SERT) Pendopo Field ...	53
Gambar 4. 6 Flow transportasi minyak PT Pertamina Hulu Rokan Pendopo Field (Sumber: Dokumen Perusahaan).....	55
Gambar 4. 7 Flow transportasi gas PT Pertamina Hulu Rokan Pendopo Field (Sumber: Dokumen Perusahaan).....	56
Gambar 4. 8 Dokumen <i>Mill Test Certificate Material</i> .....	56
Gambar 4. 9 Dokumentasi <i>Visual Inspection</i> .....	57
Gambar 4. 10 Kebocoran pipa di sungai .....	61
Gambar 4. 11 Kebocoran pipa di area perkebunan warga .....	61
Gambar 4. 12 Jalur pipa yang mengalami korosi dipermukaan tanah .....	64
Gambar 4. 13 Jalur pipa yang mengalami korosi di bawah tanah .....	64
Gambar 4. 14 Jalur pipa yang dicuri (tindakan kriminal) .....	65
Gambar 4. 15 Jalur pipa yang digesek (sabotase) .....	65
Gambar 4. 16 <i>Intermediate Event</i> Korosi Eksternal .....	67
Gambar 4. 17 <i>Intermediate Event</i> Korosi Internal .....	68
Gambar 4. 18 <i>Intermediate Event</i> Kerusakan Pihak Ketiga yang Tidak Disengaja .....	69
Gambar 4. 19 <i>Intermediate Event</i> Tindakan Kejahatan yang Disengaja .....	69
Gambar 4. 20 Grafik FTA ( <i>Fault Tree Analysis</i> ) Kebocoran Pipa ( <i>Crude Oil</i> ) di PT Pertamina EP Pendopo Field .....	71

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Dokumentasi Observasi Lapangan
- Lampiran 2. Dokumentasi Wawancara Informan Kunci Penelitian
- Lampiran 3. Dokumentasi Wawancara Informan Ahli Penelitian
- Lampiran 4. Data Sekunder
- Lampiran 5. *Informed Consent*
- Lampiran 6. Pedoman Wawancara Informan Ahli (Divisi HSSE)
- Lampiran 7. Pedoman Wawancara Informan Ahli (Divisi Humas)
- Lampiran 8. Pedoman Wawancara Informan Kunci (Pengoperasian Pipa)
- Lampiran 9. Pedoman Wawancara Informan Kunci (Pemeliharaan Pipa)
- Lampiran 10. *Checklist* Observasi

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Setiap kegiatan yang dilakukan di tempat kerja pasti memiliki risiko kecelakaan dan penyakit akibat kerja. Kecelakaan kerja adalah kejadian tak terduga yang terjadi di tempat kerja atau dalam pelaksanaan tugas pekerjaan, yang menyebabkan cedera, penyakit, atau kematian pada pekerja. Dampak dari kecelakaan kerja bisa sangat serius, mulai dari cedera ringan hingga cacat permanen atau bahkan kematian. Dampak negatif dari kecelakaan kerja sangat beragam dan dapat memengaruhi berbagai aspek kehidupan pekerja, perusahaan, dan masyarakat secara keseluruhan. Salah satu kerugian yang ditanggung perusahaan beban asuransi kecelakaan, hilangnya waktu kerja hingga terganggunya proses produksi sementara (Bastuti, 2020).

Berdasarkan data terbaru *International Labour Organization* (ILO) menyatakan bahwa setiap tahunnya sekitar 2,9 juta pekerja meninggal disebabkan oleh terjadinya kecelakaan ditempat kerja dan penyakit akibat kerja (*International Commission on Occupational Health*, 2022). Sementara itu, hasil pencatatan Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan Indonesia dari Januari hingga November tahun 2022 terdapat sebanyak 265.334 kasus kecelakaan kerja telah terjadi. Hal ini menunjukkan kenaikan jumlah kasus sebesar 13,26% bila dibandingkan selama tahun 2021 yaitu sebanyak 234.270 kasus. Adapun dalam periode 2019 hingga 2021, kecelakaan kerja menjadi terbanyak sebesar 64,4%, disusul angka 27% dilalu lintas, kemudian diluar pekerjaan 8,2% dan tempat lainnya sebesar 0,3% (BPJS Ketenagakerjaan, 2022).

Minyak dan gas adalah sumber utama konsumsi bahan bakar dunia. Sebagian besar minyak dan gas diangkut dari satu lokasi ke lokasi lain melalui jaringan pipa. *Pipeline* adalah infrastruktur transportasi yang tidak bergerak, berperan dalam mengalirkan *fluida* baik berupa cairan maupun gas (Martaningtyas dkk, 2018). Jaringan pipa yang ada di seluruh dunia telah mengalami kerusakan akibat penuaan, faktor lingkungan yang agresif, desain yang tidak memadai serta perlindungan dan pemeliharaan yang tidak tepat. Untuk memastikan kinerja yang

optimal, hal ini sering kali membutuhkan pemeliharaan, perbaikan dan pembaharuan yang ekstensif, atau bahkan penggantian komponen tertentu. Integritas jaringan pipa ini merupakan kepentingan utama perusahaan minyak dan gas, lembaga pemerintahan, konsumen, dan pemangku kepentingan lainnya karena potensi konsekuensi yang merugikan terkait dengan kesehatan masyarakat, keselamatan, dan kewajiban keuangan yang besar jika terjadi kegagalan sistem (Shahriar, A., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. 2012).

Kegiatan pengeboran minyak dalam skala besar memiliki tingkat risiko yang tinggi, di mana kesalahan atau kegagalan dapat menyebabkan kebocoran, mengakibatkan masalah-masalah serius. Kemungkinan kegagalan atau risiko dapat timbul setiap saat, meskipun pipa telah didesain dengan optimal. Pengaruh medan yang dilalui oleh pipa yang mencakup laut, dataran rendah, lembah, dan tanah dapat menyebabkan berbagai masalah, termasuk korosi dan retak atau putusnya pipa. Dampak dari kegagalan ini akan menyebabkan hilangnya peluang produksi, dan kerugian akan semakin besar (Jishin Jayan, T et.all. 2021).

Kuantifikasi risiko kegagalan pipa minyak dan gas adalah tugas yang sulit. Sistem distribusi minyak dan gas terdiri dari beberapa kilometer bahkan hingga ribuan. Pipa dengan usia yang berbeda dan material yang berbeda pipa. Kondisi operasional dan lingkungan sangat bervariasi baik secara temporal maupun spasial. Selain itu, karena sebagian besar pipa terkubur, data yang tersedia mengenai kondisinya sangat terbatas, akhirnya beberapa proses kegagalan tidak dipahami dengan baik dan investigasi sangat sulit dilakukan karena umumnya ada jeda waktu antara waktu kegagalan dan waktu dimana konsekuensi diamati. Beberapa penelitian lain membahas aspek berbeda terkait dengan penilaian risiko jaringan pipa (Nikolic, Ruzica, et al. 2020).

Di Indonesia insiden kegagalan jaringan pipa minyak mentah pernah terjadi tepatnya lima tahun lalu pada sebuah Perusahaan Minyak dan Gas di Balikpapan. Jaringan pipa crude oil yang berukuran 20 inci dan ketebalan 12 mm mengalami kebocoran yang dipicu karena faktor eksternal yaitu tidak memadainya perawatan dan inspeksi jaringan pipa, kurangnya sistem pemantauan pipa otomatis dan tidak memiliki sistem peringatan dini. Kegagalan pipa tersebut

menimbulkan korban jiwa sebanyak 5 orang nelayan serta tumpahan minyak yang mempengaruhi lingkungan, kesehatan dan perekonomian masyarakat sekitarnya.

Pada kasus lain yang terjadi pada PT. Lapindo Brantas Inc (LBI) di Jawa Timur pada tahun 2009, kebocoran ataupun kegagalan pipa minyak dan gas menjadi pemicu terjadinya semburan lumpur panas lapindo selama bertahun-tahun. Tragedi semburan lumpur lapindo ini memberikan dampak buruk bagi masyarakat sekitar hingga mengganggu aktivitas perekonomian di Jawa Timur. Pasalnya peristiwa ini telah menenggelamkan rumah warga, sekolah, lahan pertanian dan pabrik disekitarnya (Daulay, P. 2010).

PT Pertamina EP Pendopo Field merupakan salah satu perusahaan BUMN yang bergerak pada bidang minyak, gas serta energi baru dan terbarukan. Tentunya, PT Pertamina EP Pendopo Field terus berupaya menjaga keselamatan dan kesehatan pekerja serta berkomitmen untuk meningkatkan mutu produksi agar dapat mengalami kemajuan dan perkembangan. PT Pertamina EP Pendopo Field juga memiliki sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja yang diatur oleh pemerintah yaitu sesuai Undang-Undang No. 1 Tahun 1970 tentang Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3). Menurut wawancara yang dilakukan dengan perusahaan, kebocoran pipa *crude oil* di PT Pertamina EP Pendopo Field telah terjadi sebanyak 49 kali dari bulan januari hingga September tahun 2023, dengan kejadian tertinggi pada bulan februari sebanyak 14 kali dan kejadian terkecil pada bulan oktober sebanyak 2 kali.

Meskipun kegagalan pipa tidak dapat dihindari sepenuhnya, kita dapat menggunakan strategi manajemen risiko yang efektif untuk mengurangi risiko kegagalan secara keseluruhan hingga tingkat yang dapat diterima. Identifikasi, penilaian, dan pengendalian berbagai risiko dikenal sebagai manajemen risiko. Pengelolaan risiko dan bahaya yang efektif menghasilkan informasi yang akurat dan dapat diandalkan, yang kemudian digunakan untuk membuat strategi pengambilan keputusan (Susilo dan Kaho, 2018).

Salah satu metodologi yang dapat diterapkan untuk menganalisis faktor bahaya dan risiko tersebut adalah metode *Fault Tree Analysis* (FTA). *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis faktor-faktor penyebab dari sebuah kegagalan sistematis atau

kecelakaan dalam suatu sistem. Sistem produksi seperti jaringan pipa minyak sangat sulit untuk dianalisis karena strukturnya yang kompleks, kondisi operasi, dan pipa yang tidak dapat diakses. Dalam kasus seperti itu *fault tree* atau pohon kesalahan dapat diterapkan dengan sangat baik, dengan beberapa penyederhanaan kecil. *Fault tree* cocok untuk analisis sistem yang kompleks, yang terdiri dari subsistem yang terkait secara fungsional atau dapat diandalkan dengan kinerja yang berbeda. Melalui analisis pengaruh tunggal, *fault tree* menyediakan kesimpulan yang mengacu pada penyebab dan kontribusi tunggal kegagalan (Nikolic, Ruzica, et al. 2020).

FTA bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan secara mendalam, mengidentifikasi kelemahan pada suatu sistem, menilai dan mengusulkan keandalan dan keamanan untuk mengidentifikasi dampak dari kesalahan manusia, memprioritaskan kontributor kegagalan untuk mengidentifikasi peningkatan yang efektif pada sistem. Analisis FTA ini dimulai dari level atas dan diturunkan kebawah, FTA berfokus pada fungsi "*top down approach*". FTA adalah metode yang menghubungkan berbagai kejadian satu sama lain (Sunaryo, M. Aditya Hamka, 2017).

Hasil analisis pohon kesalahan digunakan untuk pencegahan kegagalan, analisis kegagalan, atau dengan kata lain untuk pengaruh berbagai faktor terhadap keandalan. Dengan maksud lain FTA diharapkan dapat membantu operator pipa dalam menentukan cara yang tepat agar jaringan pipa dapat beroperasi dengan baik dan aman melalui inspeksi, perawatan, dan perbaikan rutin yang dilakukan sesuai dengan aturan dan dalam jangka waktu tertentu yang didasarkan pada analisis risiko (Lubis, M., Achmad Widodo, and Gunawan Dwi Haryadi. 2020).

Dengan mempertimbangkan masalah-masalah di atas dan dampak faktor risiko kegagalan pada jaringan minyak mentah dalam kasus yang pernah terjadi sebelumnya, serta pentingnya melakukan analisis dan identifikasi faktor penyebab kebocoran pada sistem perpipaan PT Pertamina EP Pendopo Field selama proses produksi. Penelitian ini melakukan analisis penyebab kebocoran pipa menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menginvestigasi suatu kegagalan sistem serta mengetahui akar penyebab permasalahannya

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah latar belakang yang menunjukkan dampak yang ditimbulkan dari kegagalan pada jaringan pipa minyak mentah terhadap kasus sebelumnya, serta jumlah dan keragaman kebocoran pipa minyak mentah yang pernah terjadi di PT Pertamina EP Pendopo Field, maka peneliti memutuskan untuk melakukan analisis risiko dan bahaya di tempat kerja untuk mengetahui akar penyebab kebocoran pipa. Terdapatnya kepentingan dari hasil uraian latar belakang tersebut maka peneliti melakukan **Analisis Penyebab Kejadian Kebocoran Pipa (*Crude Oil*) Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) Di PT Pertamina EP Pendopo Field**

## 1.3 Tujuan Penelitian

### 1.3.1 Tujuan Umum

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dan mengidentifikasi akar penyebab kebocoran pipa minyak mentah di PT Pertamina EP Pendopo Field menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).

### 1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Mengetahui akar penyebab permasalahan kebocoran pipa minyak mentah di PT.Pertamina EP Pendopo Field menggunakan metode *Fault Tree Analysis*
- b. Mengkonstruksi pohon kesalahan (*Fault Tree*) dari hasil analisis faktor penyebab kejadian kebocoran pipa minyak mentah di PT Pertamina EP Pendopo Field
- c. Mengetahui hasil analisis kualitatif dari pohon kesalahan (*Fault Tree*)

## 1.4 Manfaat Penelitian

### 1.4.1 Bagi Mahasiswa

Mahasiswa dapat menganalisis permasalahan yang terdapat didalam perusahaan hingga mendapatkan solusi atau tindakan untuk mengatasi permasalahan serta dapat mengimplementasikan ilmu mengenai manajemen dan analisis risiko Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan Kerja di Lingkungan Perusahaan.

#### **1.4.2 Bagi Fakultas Kesehatan Masyarakat**

1. Menjadi bahan referensi dan kepustakaan baru bagi mahasiswa Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sriwijaya terutama Peminatan Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)
2. Mendapatkan masukan mengenai perkembangan ilmu pengetahuan melalui ilmu yang diperoleh selama penelitian di perusahaan
3. Hasil penelitian dapat dijadikan sebagai bahan untuk evaluasi kualitas pengajaran dibidang analisis risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3)

#### **1.4.3 Bagi Perusahaan**

- a. Dapat mengetahui hasil analisis penyebab kejadian kebocoran pipa minyak mentah (*crude oil*) di PT Pertamina EP Pendopo Field menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA)
- b. Dapat dijadikan dasar informasi mengenai bahaya dan risiko kebocoran pipa minyak mentah (*crude oil*) dari penyebab yang telah teridentifikasi.
- c. Dapat dijadikan referensi dalam upaya pengendalian risiko kebocoran pipa minyak mentah (*crude oil*) di PT Pertamina EP Pendopo Field
- d. Dapat meningkatkan tindakan mitigasi risiko yang direkomendasikan untuk sistem perpipaan serta mengevaluasi kembali standar penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

#### **1.5.1 Lingkup Lokasi**

Penelitian dilakukan di PT Pertamina EP Pendopo Field, Kabupten Penukul Abab Lematang Ilir (PALI), Sumatera Selatan.

#### **1.5.2 Lingkup waktu**

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Maret hingga Mei 2024.



### **1.5.3 Lingkup Materi**

Penelitian ini akan membahas mengenai analisis akar penyebab pada kejadian kebocoran pipa minyak mentah (*crude oil*) menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) di PT Pertamina EP Pendopo Field

## DAFTAR PUSTAKA

- Alijoyo, A., Wijaya, B., & Jacob, I. J. (2021). Analisis Pohon Kesalahan (Fault Tree Analysis). *CRMS Indonesia*, 8. Diakses pada 14 Desember 2023, <https://irmapa.org/belajar-teknik-asesmen-risiko-analisis-pohon-kesalahan-fault-tree-analysis-fta/>
- Anastacia, R. Z. (2015). *Pengaruh kecepatan aliran dan konsentrasi inhibitor obat parasetamol terhadap proteksi korosi baja karbon API 5L grade B pada lingkungan asam pH 5*.
- Arasid, A. Y., & Sajjo, S. (2022). Analisa Dampak Kecelakaan Kerja Terhadap Kerugian Finansial Perusahaan. *JISO: Journal of Industrial and Systems Optimization*, 5(1), 18-25.
- Ariavie, G. O., & Oyekale, J. O. (2015). Risk assessment of third-party damage index for gas transmission pipeline around a suburb in Benin City, Nigeria. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 16, 166–174. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/JERA.16.166>
- Azhar, Z. R. (2018). *Coating Terhadap Karakteristik Korosi Dibawah Insulasi Pada Pipa Baja Astm a53 Grade B Insulasi Pada Pipa Baja Astm a53*. 1–129.
- Bastuti, S. (2020). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) Dan Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Menurunkan Tingkat Risiko Kecelakaan Kerja (Pt. Berkah Mirza Insani). *Teknologi: Jurnal Ilmiah Dan Teknologi*, 2(1), 48. <https://doi.org/10.32493/teknologi.v2i1.3909>
- Cai, B., Kong, X., Liu, Y., Lin, J., Yuan, X., Xu, H., & Ji, R. (2018). Application of Bayesian networks in reliability evaluation. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 15(4), 2146-2157.
- Cui, Y., Quddus, N., & Mashuga, C. V. (2020). Bayesian network and game theory risk assessment model for third-party damage to oil and gas pipelines. *Process Safety and Environmental Protection*, 134, 178–188. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.11.038>

- Daulay, P. (2010). Survival Mechanism Victim Household of Lumpur Lapindo in Sidoarjo-Jawa Timur. *Jurnal Organisasi dan Manajemen*, 6(1), 74-88.
- Duyo, R. A. (2020). Analisis Penyebab Gangguan Jaringan Pada Distribusi Listrik Menggunakan Metode Fault Tree Analysis Di PT. PLN (Persero) Rayon Daya Makassar. *Vertex Elektro*, 12(2), 1-12.
- Ferdiana, T., & Priadythama, I. (2015). Analisis Defect Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) Berdasarkan Data Ground Finding Sheet (GFS) PT. GMF AEROASIA. *Prosiding Seminar Nasional Industrial Engineering Conference (IDEC) 2016*, 1–8.
- Fadli, R., Jufrizel, J., & Hastuti, W. P. (2021). Analisa Sistem Instrumentasi dan Keandalan Boiler dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA) dan Metode Failure Mode And Effect Analysis (FMEA). *El Sains : Jurnal Elektro*, 2(2). <https://doi.org/10.30996/elsains.v2i2.4768>
- Fakhravar, D., Khakzad, N., Reniers, G., & Cozzani, V. (2017). Security vulnerability assessment of gas pipelines using Discrete-time Bayesian network. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 714-725.
- Guo, X., Zhang, L., Liang, W., & Haugen, S. (2018). Risk identification of third-party damage on oil and gas pipelines through the Bayesian network. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 54, 163–178. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.03.012>
- Hidayatil Huda, E., Gusriana Harahap, R., & Liana Putri, D. (2022). Perhitungan Kerugian Tumpahan Minyak di Kecamatan Balikpapan Barat Tahun 2018. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13(01), 1276–1281. <https://jurnal.polban.ac.id/ojs-3.1.2/proceeding/article/view/4266>
- Hassan, T. A., Komalasari, & Zahrina, I. (2014). Pengendalian Korosi Pipa Perminyakan dengan Menggunakan Inhibitor Korosi. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 1(1), 1–6
- Honawi, B., & Iswanto, P. T. (2021). Investigasi Pengaruh Inhibitor Korosi Molibdat Terhadap Laju Korosi Pipa Injeksi Sistem Waterflood (Baja Karbon Api 5l GR B) Dengan Media Air Formasi Sumur Minyak Bumi

- Jenis Sumatra Light. In *Prosiding Seminar Sains Nasional dan Teknologi* (Vol. 1, No. 1).
- Husaini, F., Suliawati, S., & Arfah, M. (2023). Analisis Penerapan Program Keselamatan Kerja dalam Usaha Meningkatkan Produktivitas Kerja dengan Pendekatan Fault Tree Analysis. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 2(2), 168–175. <https://doi.org/10.56211/blendsains.v2i2.268>
- Indragiri, S., & Yuttya, T. (2018). Manajemen risiko k3 menggunakan hazard identification risk assessment and risk control (hirarc). *Jurnal Kesehatan*, 9(1), 39-52.
- Irfan, M., & Susilowati, I. H. (2021). Analisa manajemen risiko K3 dalam industri manufaktur di Indonesia: literature review. *PREPOTIF: Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(1), 335-343.
- Jishin Jayan, T., Muthukumar, K., Renjith, V. R., & George, P. (2021). The risk assessment of a *crude oil* pipeline using fuzzy and bayesian based bow-tie analysis. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 9, 1–16. <https://doi.org/10.36909/jer.ICMMM.12399>
- Kartikasari, V., & Romadhon, H. (2019). Analisa pengendalian dan perbaikan kualitas proses pengalengan ikan tuna menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA) dan fault tree analysis (FTA) studi kasus di PT XXX Jawa Timur. *Journal of Industrial View*, 1(1), 1-10.
- Lubis, M. O. Z. A., Widodo, A., & Haryadi, G. D. (2020). *Risk Assessment of Gas Pipeline using Risk based Inpection and Fault Tree Analysis*. *Eic 2018*, 43–47. <https://doi.org/10.5220/0009006100430047>
- Marsudi, S. (2021). *Analisa Resiko Kegagalan Sistem Boiler Dengan Menggunakan Fault Tree Analisis*. *November*, 38.
- Martaningtyas, M., Hertanto, D., & Ariesyady, D. (2018). Identifikasi Bahaya Dan Analisis Risiko Pada Jaringan Pipa Transmisi *Crude oil* Di Perusahaan Migas Hazards Identification and Risk Analysis of *Crude oil* Transmission Pipeline in Oil and Gas Company. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 24(1), 1–14.

- Miri Lavasani, M. R., Wang, J., Yang, Z., & Finlay, J. (2011). Application of Fuzzy Fault Tree Analysis on Oil and Gas Offshore Pipelines. *International Journal of Marine Science and Engineering*, 1(1), 29–42.
- Muhlbauer, W. K. (2004). *Pipeline risk management manual: ideas, techniques, and resources*. Elsevier.
- Na'am, M. M., Andesta, D., & Ismiyah, E. (2023). Occupational Health and Safety Analysis Using HIRA and FTA Methods in the Silo Department of PT. XYZ. *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(3), 523–534. <https://doi.org/10.46574/motivection.v5i3.277>
- Nanda, J. F., Dhanistha, W. L., & Silvianita, S. (2022). Penilaian Resiko Kerusakan Pipa Bawah Laut Milik PT. Perusahaan Gas Negara di Labuhan Maringgai-Muara Bekasi Akibat Kejatuhan Jangkar Menggunakan Metode Monte Carlo. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v11i2.88798>
- Nebosh. (2016). Fault Tree Analysis (FTA) and Event Tree Analysis (ETA). *NEBOSH National Diploma - Unit A*, 1–9.
- Nikolic, R., Arsic, D., Arsic, A., Sarkocevic, Z., Cvetkovic, D., & Hadzima, B. (2020). The fault tree analysis of causes of the welded pipes failures in exploitation. *Communications - Scientific Letters of the University of Žilina*, 22(1), 62–70. <https://doi.org/10.26552/com.c.2020.1.62-70>
- Nurmansyah, A. (2020). Kajian Korosi Pada Pipa Transportasi Crude Oil Pipeline C (SP 03 – SP 04) Di Kecamatan Balikpapan Kota Kota Balikpapan Provinsi Kalimantan Timur. *Prosiding Teknik Pertambangan, Vol 6, No, 678*. <http://hdl.handle.net/123456789/29064>
- Ostfeld, A., Salomons, E., Skolicki, Z., Wadda, M. M., Houck, M. H., Arciszewski, T., Perelman, L., Ostfeld, A., St, S., Water, D. H. I., Alle, A., Ph, D., Asce, M. H. H. F., Asce, T. A. M., Kroll, D., King, K., Gueli, R., Grayman, W., Murray, R., and Savic, D., Environmental, W., ... Salomons, E. (2013). Icptt 2012 © asce 2013 1574. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 136(5), 1–10. <http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41024%28340%2943%5Cnhttp://a>

scelibrary.org/doi/abs/10.1061/40941%28247%29118%5Cn%3CGo to  
ISI%3E://WOS:000238430100002

- Lubis, M. O. Z. A., Widodo, A., & Haryadi, G. D. (2020). *Risk Assessment of Gas Pipeline using Risk based Inpection and Fault Tree Analysis. Eic 2018*, 43–47. <https://doi.org/10.5220/0009006100430047>
- Rahmawan, D., Husodo, A. W., & Kusuma, G. E. (2018). Analisis Penilaian Risiko pada Flowline Jalur Pipa Gas dari Wellhead Menuju Central Processing Plant. *Proceeding 1st Conference on Safety Engineering and Its Application*, 2581, 264–268. <http://repository.ppns.ac.id/id/eprint/1155>
- Rahmawati, R. E. D., Fitrullah, M., Dwiyaniti, Y., & Si, S. (n.d.). *Pengaruh Temperatur Pada Coating Wrapping Tape Terhadap Coating Breakdown Dan Current Density Pada Pipa Baja Dalam Aplikasi Impressed Current Cathodic Protection ( Iccp )*.
- Rezazadeh, A., Talarico, L., Reniers, G., Cozzani, V., & Zhang, L. (2019). Applying game theory for securing oil and gas pipelines against terrorism. *Reliability Engineering & System Safety*, 191, 106140.
- Riadi, Muchlisin. (2023). *Fault Tree Analysis (FTA) - Fungsi, Metode, Simbol dan Langkah Pembuatan*. Diakses pada 15 September 2023, dari <https://www.kajianpustaka.com/2023/06/fault-tree-analysis-fta.html>
- Sinay, J. O., Rosyid, D. M., & Zikra, M. (2023). Risk Assessment pada Jaringan Pipa Bawah Laut di PT. XYZ (Studi Kasus: 32” MGL-NGLB CILAMAYA). *Jurnal Teknik ITS*, 12(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i1.110478>
- Sirait, D. S. (2020). Analisa Sistem Proteksi Katodik Anoda Korban Pada Jaringan Pipa Onshore Stasiun Penerima Gas Pagardewa. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(3), 47. <https://doi.org/10.22441/jtm.v8i3.5025>
- Shahriar, A., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2012). Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(3), 505–523. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.12.007>
- Transportation Security Administration, 2011. *Pipeline Security Guidelines*.

- Vicenza, D. (2021). *Kajian Korosi dan Proteksi Katodik Sistem Anoda Korban Pada Pipa Transportasi Crude Oil Pipeline C di Kecamatan Lemahabang, Kabupaten Karawang, Provinsi Jawa Barat*. 9.
- Wahyuni, N., Suyadi, B., & Hartanto, W. (2018). Pengaruh keselamatan dan kesehatan kerja (K3) terhadap produktivitas kerja karyawan pada PT. Kutai Timber Indonesia. *JURNAL PENDIDIKAN EKONOMI: Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan, Ilmu Ekonomi Dan Ilmu Sosial*, 12(1), 99-104.
- Warnana, D. D., Iswahyudi, A., & Prabawa, S. E. (2015). Penentuan Area Korosi Tanah Lokal Berdasarkan Resistivitas Tanah untuk Perancangan Sistem Proteksi Katodik. *Jurnal Geosaintek*, 1(1), 43. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v1i1.1198>
- Wulandari, T., Asdim, A., & Hafizah, M. A. E. (2023). Inhibition of Steel Corrosion Rate in Sulfuric Acid Solution with Various Concentrations Using Soursop (*Annona muricata* L.) Leaf Extract Inhibitor. *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, 6(2), 97–105. <https://doi.org/10.20885/ijca.vol6.iss2.art1>
- Wu, X., Xiao, C. Y., & Xu, X. Y. (2012). Research on a nonlinear fuzzy comprehensive assessment method for oil & gas pipeline failure based on fault tree analysis. *Applied Mechanics and Materials*, 187, 304–310. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.187.304>
- Yazdi, M., Mohammadpour, J., Li, H., Huang, H. Z., Zarei, E., Pirbalouti, R. G., & Adumene, S. (2023). Fault tree analysis improvements: A bibliometric analysis and literature review. *Quality and Reliability Engineering International*, 39(5), 1639–1659. <https://doi.org/10.1002/qre.3271>
- Yuhua, D., & Datao, Y. (2005). Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 18(2), 83–88. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2004.12.003>
- Zhang, K., Zeng, Z., Chen, L., & Lin, W. (2022). *Third-party Damage Analysis and Intelligent Risk Management Research in High-Consequence Areas of Oil and Gas Pipelines 2 . Definition of Third-Party Sabotage in High-*

*consequence Areas of Oil and. 8(2), 375–380.*  
<https://doi.org/10.6919/ICJE.202202>

Zhu, B., Yang, X., Wang, J., Shao, C., Li, F., Hong, B., Song, D., & Guo, J. (2022). Third-Party Damage Model of a Natural Gas Pipeline Based on a Bayesian Network. *Energies*, *15(16)*, 1–12.  
<https://doi.org/10.3390/en15166067>