

**ANALISIS RISIKO LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN
METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) DAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA OPERASIONAL INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)**

TUGAS AKHIR



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA
2026**

**ANALISIS RISIKO LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN
METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) DAN
FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA OPERASIONAL INSTALASI
PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas Sarjana Teknik



DIFFA ASSHIDIQII

1232915006

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE**

JAKARTA

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Diffa Asshidiqii

NIM : 1232915006

Tanda Tangan : 

Tanggal : 2 September 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Diffa Asshidiqii

NIM : 1232925006

Program Studi : Teknik Lingkungan

Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer

Judul Tugas Akhir : Analisis Risiko Lingkungan Dengan Menggunakan Metode
Failure Mode And Effects Analysis (FMEA) Dan *Fault Tree Analysis* (FTA) Pada Operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Bakrie.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Sirin Fairus, S.TP., M.T.

()

Penguji 1 : Dr. Kun Nasyton, ST. MSi

()

Penguji 2 : Dr. Eng. Ir. M Candra Nugraha Deni, S.T., IPU.

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 2 September 2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir ini. Proposal Tugas Akhir ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Proposal Tugas Akhir ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikannya. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada:

- 1) Bapak Dr. Kun Nasyton, ST. MSi dan Bapak Dr. Eng. Ir. M Candra Nugraha Deni, S.T., IPU. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan-masukan yang berharga dengan tujuan mengarahkan saya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- 2) Ibu Sirin Fairus, S.TP., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang senantiasa mengarahkan dan memberikan bimbingan serta masukan kepada penulis dalam penyusunan Proposal Tugas Akhir ini.
- 3) Bapak Aqil Azizi, S.Pi., M.Appl.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Bakrie, sekaligus Dosen Penguji yang telah memberikan masukan-masukan yang berharga dengan tujuan mengarahkan saya dalam penulisan Tugas Akhir ini.
- 4) Istri saya, Qurriyatus Zahro, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dukungan, pengertian, dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini, serta anak saya tercinta, Muhammad Pandhiga Asshidiqii, yang menjadi sumber kebahagiaan, motivasi, dan semangat bagi penulis untuk terus berusaha menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan sebaik-baiknya.
- 5) Orang tua saya, Bapak Kungsul L. dan Ibu Tutik Marlinda, serta mertua saya, Bapak Misdi dan Ibu Nur Khoiroh, yang senantiasa memberikan doa dan dukungan, baik secara moral maupun materiel, kepada penulis.
- 6) Adik saya, Walid Al Qhodi dan Muhamad Antareksa, yang senantiasa memberikan doa, dukungan, dan semangat kepada penulis selama proses penyusunan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.
- 7) Teman-teman Teknik Lingkungan Kelas Karyawan 2023 angkatan 20 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis dalam penyusunan Proposal

Tugas Akhir ini.

- 8) Seluruh Dosen Jurusan Teknik Lingkungan beserta Staff Universitas Bakrie, yang telah memberikan ilmunya kepada penulis dan semua pihak yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu saya. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, 17 Februari 2024



Diffa' Asshidiqii

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

Nama : Diffa' Asshidiqii
NIM : 1232915006
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Teknik dan Ilmu Komputer
Jenis Tugas Akhir : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

ANALISIS RISIKO LINGKUNGAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) PADA OPERASIONAL INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL)

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Bakrie 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 untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya,

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 2 September 2026

Yang menyatakan



Diffa Asshidiqii

ABSTRAK

Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) berperan penting dalam sistem pengendalian pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan industri. PT XYZ sebagai salah satu industri manufaktur telah membangun IPAL untuk mengolah air limbah industri. Pembangunan unit IPAL yang terbaru ini diperlukan adanya identifikasi potensi risiko lingkungan. Hal ini disebabkan oleh adanya berbagai potensial kegagalan yang dapat mempengaruhi kinerja pengolahan serta berisiko menyebabkan ketidakpatuhan terhadap baku mutu lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi, menentukan tingkatan prioritas risiko, menganalisis akar permasalahan, serta merumuskan rekomendasi perbaikan yang efektif. Penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan risiko berdasarkan nilai *Risk Priority Number (RPN)* yang diperoleh dari nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Setelah mendapatkan prioritas risiko, perlu adanya analisis akar penyebab dengan menggunakan *Fault Tree Analysis (FTA)*. Data penelitian diperoleh dari hasil observasi lapangan, studi dokumen, wawancara dengan supervisor IPAL, operator IPAL, dan pihak *Environment, Health, and Safety (EHS)*, serta data kualitas air limbah dan operasional IPAL. Hasil penelitian menunjukkan adanya kualitas outlet IPAL masih memiliki risiko ketidaksesuaian terhadap baku mutu lingkungan, terutama parameter Besi (Fe), pH, BOD. Dari data wawancara ditemukan potensi kegagalan utama yaitu aerasi tidak optimal, sedimentasi tidak efektif, filter tersumbat, fouling membrane, kesalahan dosing bahan kimia, kerusakan pompa, kegagalan proses disinfeksi dan overflow IPAL. Analisis FMEA mengidentifikasi risiko yang memiliki prioritas tertinggi ditemukan pada unit aerasi, filtrasi, dan disinfeksi. Analisis akar permasalahan dari prioritas tertinggi menggunakan FTA menunjukkan bahwa penyebab utama kegagalan berasal dari faktor teknis, operasional, dan manajerial, seperti *human error*, kurangnya pemeliharaan, sistem desain yang tidak optimal, belum adanya SOP yang memadai, serta audit yang belum dilakukan secara rutin.

Kata kunci: Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), Risiko Lingkungan, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)*, Manajemen Risiko.

ABSTRACT

Wastewater Treatment Plants (WWTPs) play an important role in environmental pollution control resulting from industrial activities. PT XYZ, as one of the tire manufacturing industries, has established a WWTP to treat industrial wastewater. The construction of the latest WWTP unit requires the identification of potential environmental risks due to various potential failure modes that may affect treatment performance and potentially lead to non-compliance with environmental quality standards. This study aims to identify potential risks, determine risk priority levels, analyze root causes, and formulate effective improvement recommendations. The *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)* method was used to identify and prioritize risks based on the *Risk Priority Number (RPN)*, which is determined from the *Severity*, *Occurrence*, and *Detection* ratings. Following the identification of priority risks, *Fault Tree Analysis (FTA)* was employed to analyze their root causes. Data were obtained through field observations, document reviews, interviews with WWTP supervisors, WWTP operators, and *Environment, Health, and Safety (EHS)* personnel, as well as wastewater quality and WWTP operational data. The results indicate that the WWTP effluent still poses a risk of non-compliance with environmental quality standards, particularly for iron (Fe), pH, and BOD parameters. Interview data identified several major potential failure modes, including inadequate aeration, ineffective sedimentation, clogged filters, membrane fouling, chemical dosing errors, pump failures, disinfection process failures, and WWTP overflow. The FMEA results identified the highest-priority risks in the aeration, filtration, and disinfection units. The FTA root cause analysis of the highest-priority risks indicated that the failures were primarily caused by technical, operational, and managerial factors, including human error, inadequate maintenance, suboptimal system design, insufficient SOPs, and the lack of routine audits.

Keywords: Wastewater Treatment Plant (WWTP), Environmental Risk, *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, *Fault Tree Analysis (FTA)*, Risk Management.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
<u>BAB I PENDAHULUAN.....</u>	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Ruang Lingkup.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL)	6
2.2 Proses Produksi PT. XYZ.....	6
2.3 Proses Penunjang Usaha atau Kegiatan lainnya	8
2.4 Limbah Cair	11
2.5 Manajemen Risiko	12
2.6 Proses Penerapan Manajemen Risiko	13
2.7 Manajemen Risiko Lingkungan.....	16
2.8 Penelitian Terdahulu	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	26
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	26
3.2 Diagram Alir Penelitian	26

3.3	Tahapan Penelitian.....	27
3.4	Desain Penelitian	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Penggunaan Air dan Timbulan Air Limbah.....	33
4.2	Fluktuasi Produksi dan Air Limbah.....	35
4.3	Neraca Air.....	36
4.4	Baku Mutu Air Limbah.....	38
4.5	Potensi Kegagalan pada unit IPAL	40
4.6	Analisis Risiko Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)	42
4.7	Analisis Akar Penyebab Menggunakan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)....	45
4.8	Rekomendasi Mitigasi Risiko Sistem IPAL	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		58
5.1	Kesimpulan	58
3)	Saran	59
DAFTAR PUSTAKA		60
Lampiran 1 Lembar Wawancara.....		66
Lampiran 2 Lembar Kuesioner		67
Lampiran 3 Hasil Wawancara Supervisor IPAL		68
Lampiran 4 Hasil Wawancara Operator IPAL.....		69
Lampiran 5 Hasil Wawancara Pihak EHS		70
Lampiran 6 Jadwal.....		71
Lampiran 7 Perhitungan Timbulan Air Limbah		72
Lampiran 8 Prosedur Mutu Pemeliharaan IPAL		73
Lampiran 9 Checksheet Pendataan Limbah Cair IPAL Integrasi		79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Alur Proses RO dan Pengoperasian boiler	9
Gambar 2 Proses pendinginan mesin di PT. XYZ.....	10
Gambar 3 Elemen utama manajemen risiko	12
Gambar 4 Diagram Bowtie	19
Gambar 5 Fishbone Diagram	21
Gambar 6 Diagram Alir Penelitian	26
Gambar 7 Grafik Rata-Rata Flutuasi Produksi dan Air Limbah Industri	35
Gambar 8 Neraca Air PT XYZ	37
Gambar 9 Diagram Fault Tree Analysis	49
Gambar 10 Layout pengolahan air limbah Industri PT XYZ	51
Gambar 11 Alur proses pengolahan air limbah	53
Gambar 12 Instrumentation diagram IPAL	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1 FMEA Worksheet.....	17
Tabel 2 HAZOP Worksheet.....	18
Tabel 3 HIRARC Worksheet.....	19
Tabel 4 Perbandingan metode problem formulation	20
Tabel 5 5 Whys Analysis	21
Tabel 6 Simbol-simbol Fault Tree Analysis	22
Tabel 7 Perbandingan Root Cause Analysis.....	23
Tabel 8 Penelitian Terdahulu.....	24
Tabel 9 Kategori Severity	28
Tabel 10 Kategori Occurance	28
Tabel 11 Kategori Detection.....	29
Tabel 12 Penilaian FMEA	29
Tabel 13 Desain Penelitian	31
Tabel 14 Tabel kebutuhan air bersih PT XYZ Tahun 2024.....	33
Tabel 15 Timbulan Air Limbah	34
Tabel 16 Sampling Air Limbah PT XYZ	39
Tabel 17 Data Wawancara.....	40
Tabel 18 Hasil Perhitungan FMEA.....	43
Tabel 19 Unit Very High Risk.....	44
Tabel 20 Unit High Risk.....	45
Tabel 21 Analisis kegagalan unit filtrasi dan membran.....	46
Tabel 22 Analisis kegagalan unit biologis (aerasi)	47
Tabel 23 Analisis kegagalan unit disinfeksi	47
Tabel 24 Identifikasi penyebab dominan dari basic event.....	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Lembar Wawancara.....	66
Lampiran 2 Lembar Kuesioner	67
Lampiran 3 Hasil Wawancara Supervisor IPAL	68
Lampiran 4 Hasil Wawancara Operator IPAL.....	69
Lampiran 5 Hasil Wawancara Supervisor EHS.....	70
Lampiran 6 Jadwal Penelitian.....	71
Lampiran 7 Perhitungan Timbulan Air Limbah	72
Lampiran 8 Prosedur Mutu Pemeliharaan IPAL	73
Lampiran 9 Checksheet Pendataan Limbah Cair IPAL Integrasi.....	79