



TUGAS AKHIR - RE 184804

ANALISIS RISIKO PADA INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH PT X DENGAN KONSEP MANAJEMEN RISIKO

RACHMAT KUKUH PATRIA
0321154000042

DOSEN PEMBIMBING:
Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS RISIKO PADA INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH PT X DENGAN KONSEP MANAJEMEN RISIKO

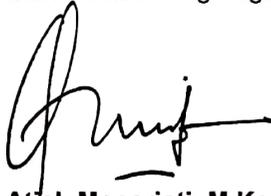
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

RACHMAT KUKUH PATRIA
NRP. 0321154000042

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Atef Moesriati, M.Kes
NIP. 19570602 198903 2 002





TUGAS AKHIR - RE 184804

ANALISIS RISIKO PADA INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH PT X DENGAN KONSEP MANAJEMEN RISIKO

RACHMAT KUKUH PATRIA
0321154000042

DOSEN PEMBIMBING:
Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



FINAL PROJECT - RE 184804

RISK ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN X COMPANY WITH RISK MANAGEMENT CONCEPT

Rachmat Kukuh Patria
0321154000042

Supervisor
Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

DEPARTEMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
Fakultas of Civil Environmental and Geo Engineering
Institute of Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2019

ANALISIS RISIKO PADA INSTALASI PENGOLAH AIR LIMBAH PT X DENGAN KONSEP MANAJEMEN RISIKO

Nama : Rachmat Kukuh Patria
NRP : 0321154000042
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen
Pembimbing : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

ABSTRAK

PT X merupakan industri yang bergerak dalam bidang pengolahan hasil perikanan laut. Kegiatan produksi PT X tersebut tentunya selain menghasilkan dampak positif berupa produk olahan ikan akan tetapi, juga menimbulkan dampak negatif berupa produksi air limbah. Upaya pencegahan pencemaran lingkungan oleh air limbah telah dilakukan oleh PT X dengan membangun Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL). Akan tetapi efisiensi penurunan kandungan polutan tidak dapat terjadi secara optimal khususnya parameter TSS, COD, dan *ammonia nitrogen* yang mengalami kenaikan konsentrasi berturut-turut sebesar 65 mg/L, 204,1 mg/L, dan 14.4 mg/L. Permasalahan tersebut merupakan contoh dari kegagalan yang diakibatkan oleh berbagai faktor baik teknis maupun SDM. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk menganalisis risiko penyebab kegagalan yang mungkin terjadi dalam pengolahan air limbah.

Analisis risiko dalam penelitian ini menggunakan konsep manajemen risiko. Tahap dari manajemen risiko sendiri adalah mengidentifikasi proses, mengidentifikasi risiko, menilai risiko, dan yang terakhir adalah membuat tindakan penanganan risiko yang terjadi. Di dalam proses analisis risiko digunakan dua metode, FTA dan FMEA. Metode FTA digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan dan faktor risiko penyebabnya. Sedangkan metode FMEA sendiri digunakan dalam penilaian risiko yang telah diidentifikasi. Selanjutnya dilakukan evaluasi risiko untuk mendapatkan rangking risiko yang nantinya disusun tindakan penanganan terhadap risiko yang mempunyai peringkat pertama dalam rangkingnya.

Sesuai hasil identifikasi dengan FTA didapatkan bahwa kegagalan utama dalam proses pengolahan air limbah PT X adalah penurunan kualitas effluen yang tidak memenuhi baku mutu. Faktor risiko dasar penyebab kegagalan tersebut dari aspek/faktor utama teknis berupa beban BOD yang berkisar antara 0,93-1,35 kg BOD/m³.hari, rasio F/M sebesar 0,73-1,07, umur lumpur selama 43 hari, Kebutuhan oksigenasi sebesar 763,9 m³/jam, dan SVI sebesar 389,3 ml/g. Untuk aspek/ faktor utama SDM yakni kualitas berupa pengalaman kerja yang masih kurang dan kuantitas berupa jumlah operator IPAL yang juga masih harus perlu ditambah. Berdasarkan penilaian dengan menggunakan FMEA, faktor risiko dasar ditinjau dari aspek teknis yang paling berpengaruh adalah jumlah kebutuhan oksigenasi dimana kondisi ideal yang harus dipenuhi sebesar 808,6 m³/jam, sedangkan untuk aspek SDM adalah kualitas daripada staff operator IPAL itu sendiri. Penanganan yang disarankan untuk kebutuhan oksigen adalah menambah kecepatan kompressor atau mengganti kompressor dengan yang baru. sedangkan untuk kualitas staff operator diperlukan peningkatan kualitas kehidupan kerja berupa pengembangan diri yakni pelatihan briefing setiap hari oleh pihak supervisor dan workshop pelatihan air limbah.

Kata kunci: Activated Sludge, Fault Tree Analysis, Failure Mode Effect Analysis, Penanganan Risiko

RISK ANALYSIS OF WASTEWATER TREATMENT PLANT IN X COMPANY WITH RISK MANAGEMENT CONCEPT

Name : Rachmat Kukuh Patria
NRP : 0321154000042
Departement : Environmental Engineering
Supervisor : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

ABSTRACT

X Company is an industry engaged in the processing of marine fisheries. The marine catch consists of fish, shrimp, and crab which is needed to be made into food products that are made into. X company's production activities in addition to producing a positive impact on processed fish products will also have a negative impact in the form of waste water production. Efforts to improve environmental pollution by wastewater have been carried out by X company by creating a Wastewater Treatment Plant (WWTP). However, optimal efficiency cannot occur especially parameters that exceed are TSS, COD, and ammonia nitrogen. The concentration of TSS, COD, and ammonia nitrogen is 65 mg/L, 204,1 mg/L and 14,4 mg/L. This problem is an example of a failure caused by a risk from technic or human resource. Therefore this research was conducted to analyze the basic risk that cause failure in wasterwater process.

The risk analysis in this study uses the concept of risk management. The stage of risk management itself is identifying processes, identifying risks, assessing risks, and finally making mitigation actions to minimize the risks that occur. In the process of risk analysis two methods are used, FTA and FMEA. The purpose of the analysis using the FTA method is to determine the potential risks of the most basic causes of failure or failure mode. Whereas, for FMEA it is carried out with the aim of risk assessment or failure mode based on three assessment indicators, namely severity, occurance, and detection. Risk assessment is used to determine the ranking of the risks that have been identified. The purpose determining rank of the risks is done to facilitate the

preparation of mitigation priority actions to minimize the risks that have big impact.

Based on the results of this research using FTA, it was found that the main failure in the processing of WWTP PT X was a decreasing the quality of effluent wastewater that did not appropriate the quality standards of East Java Governor Regulation No. 72 of 2013. The basic risk factors for the failure from the main technical aspects / factors in the form of BOD Load ranged from 0.93-1.35 kg BOD / m³.day, F / M ratio of 0.73-1.07, Age Mud for 43 days, oxygenation needs of 763.9 m³ / hour, and SVI of 389.3 ml / g. For the main HR aspects / factors, namely the quality and quantity of WWTP operators. Based on the assessment using FMEA, the basic risk factors in terms of the most influential technical aspects are the number of oxygenation needs where the ideal conditions that must be 808.6 m³ / hour, while the HR aspect is the quality of the WWTP operator's own staff. The recommended treatment for oxygen needs is to increase the compressor speed to 780 rpm or replace the compressor with a new one. while for the quality of the operator staff it is necessary to improve the quality of work life in the form of self-development, namely training daily briefings by supervisors and waste water training workshops.

Keywords: Activated Sludge, Fault Tree Analysis, Failure Mode Effect Analysis, Risk Handling.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena hanya dengan berkat dan rahmat-Nya, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang strata satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan Judul "Analisis Risiko pada Instalasi Pengolah Air Limbah PT X dengan Konsep Manajemen Risiko".

Penulisan laporan tugas akhir dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan bimbingan dari pihak-pihak yang terkait dengan pelaksanaan tugas akhir. Oleh karena itu, perkenankan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, dan saran.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc selaku Dosen pengarah saya yang telah memberikan ide topik sekaligus saran perbaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Adhi Yuniarto, ST., MT., Ph.D dan Ibu Harmin Sulistyaningtitah, S.T., M.T., PhD. selaku dosen pengarah saya yang telah banyak memberi arahan dan masukan
4. Bapak Dr. Ir. Rachmat Boediantoso, MT selaku dosen wali saya yang telah menjadi orang tua ke-2 saya selama perkuliahan.
5. Bapak Welly Herumurti, ST., M.Sc selaku koordinator tugas akhir yang telah mengatur jalanya tugas akhir tahun ajaran 2018/219.
6. Ino Tri Wulansari, Valianto Rojulun Afif, dan Klarissa Pradianti yang telah membantu saya untuk mendapatkan data primer baik sampling maupun analisis laboratorium.
7. Daniar Rahmasari dan Rofiqoh Al Ghani yang telah mendengar keluh kesah saya dan sekaligus teman seperjuangan saya selama running tugas akhir.

8. Semua teman saya di Laboratorium Teknologi Pemulihan Air yang tidak henti-hentinya menjadi penyemangat untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

Akan tetapi dibalik semua penulisan tugas akhir ini tidak akan berhasil tanpa Ibunda saya dan adik saya yang telah mendoakan saya dan mendengar keluh kesah saya, serta memberikan banyak bantuan dana untuk tugas akhir ini agar dapat terselesaikan dengan baik.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak guna kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Penulis mengucapkan terima kasih banyak atas perhatiannya.

Surabaya, 29 Juni 2019

Rachmat Kukuh Patria
NRP 0321154000042

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan.....	4
1.4. Ruang Lingkup	4
1.5. Manfaat.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Industri Pengolahan ikan	7
2.1.1. Sumber Air Limbah Industri Perikanan.....	7
2.1.2. Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Ikan ..	7
2.1.3. Karakteristik Air Limbah Industri Pengolah Ikan....	9
2.2. Sistem Lumpur Aktif	10
2.2.1. Unit Pengolahan Air Limbah <i>Aeration Tank</i>	16
2.2.2. Unit Pengolah <i>Sequencing Batch Reactor</i>	17
2.3. Risiko	20
2.4. Manajemen Risiko	22
2.4.1. Membangun Konteks.....	24
2.4.2. Identifikasi Risiko	24
2.4.3. Analisis Risiko.....	25

2.4.4.	Evaluasi Risiko.....	28
2.4.5.	Penanganan Risiko.	28
2.5.	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	29
2.6.	<i>Failure Mode Effect Analysis (FMEA)</i>	31
2.6.1.	Mereview Proses Produksi	33
2.6.2.	Penentuan Potential Failure Modes	34
2.6.3.	Memperkirakan <i>Severity Failure Mode</i>	36
2.6.4.	Memperkirakan <i>Occurance Failure Mode</i>	37
2.6.5.	Memperkirakan <i>Detection Failure Mode</i>	38
2.6.6.	Menghitung <i>Risk Priority Number</i>	40
2.6.7.	Memprioritaskan <i>Failure Mode</i>	40
2.6.8.	Mengambil Tindakan	41
2.6.9.	Menghitung <i>RPN</i> Setelah Adanya Tindakan	41
2.7.	Penelitian Terdahulu.....	41
BAB 3 METODE PENELITIAN		45
3.1.	Umum	45
3.2.	Kerangka Penelitian.....	45
3.3.	Ide Studi.....	49
3.4.	Studi Literatur	50
3.5.	Lokasi Penelitian.....	50
3.6.	Pengumpulan Data Primer	50
3.6.1.	Data parameter kualitas air limbah.	51
3.6.2.	Data Wawancara Narasumber	54
3.6.3.	Data Debit Air Limbah.	54
3.7.	Pengumpulan Data Sekunder.	54
3.7.1.	Data Skema Proses IPAL	55
3.7.2.	Denah IPAL.....	55

3.7.3.	Debit Penggunaan Air Bersih	55
3.8.	Identifikasi Proses	55
3.9.	Identifikasi Risiko	55
3.10.	Penilaian Risiko	57
3.11.	Evaluasi Risiko	58
3.12.	Penanganan Risiko	58
3.13.	Kesimpulan	59
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1.	Karakteristik Air Limbah.....	61
4.2.	Sistem Pengolahan Air Limbah PT X	62
4.2.1.	Bak Equalisasi	62
4.2.2.	Bak Aerasi 1	63
4.2.3.	Bak Aerasi 2	64
4.2.4.	Bak Aerasi 3	65
4.2.5.	Bak Aerasi 4/SBR	66
4.2.6.	Bak Kontrol	67
4.3.	Effisiensi Pengolahan IPAL PT X	68
4.3.1.	Diagram Alir Debit IPAL PT X.....	71
4.3.2.	Mass Balance IPAL PT X	72
4.4.	Identifikasi Risiko IPAL PT X.....	72
4.4.1.	Identifikasi Risiko Dasar Pada Aspek Teknis	78
4.4.2.	Identifikasi Risiko Dasar Pada Aspek SDM.....	80
4.5.	Analisis Risiko dengan Menggunakan FMEA	81
4.5.1.	Penentuan Nilai Bobot Kepentingan	81
4.5.2.	Penentuan Nilai <i>Severity</i>	87
4.5.3.	Penentuan Nilai <i>Occurance</i>	99
4.5.4.	Penentuan Nilai <i>Detection</i>	104

4.6.	Evaluasi Risiko	108
4.6.1.	Perhitungan Nilai Risk Priority Number	108
4.6.2.	Perangkingan Risiko	109
4.7.	Penanganan Risiko.....	111
4.7.1.	Penanganan Risiko Teknis.....	111
4.7.2.	Penanganan Risiko SDM.....	113
BAB 5	KESIMPULAN	115
5.1.	Kesimpulan	115
5.2.	Saran	116
DAFTAR PUSTAKA.....		117
LAMPIRAN A	Mass Balance	123
I.1.	Perhitungan TSS	123
I.2.	Perhitungan BOD.....	126
I.3.	Perhitungan COD	129
I.4.	Perhitungan NH ₃ -N	132
LAMPIRAN B	Perhitungan Variabel Kontrol	137
II.1.	Perhitungan Beban BOD (Beban BOD)	137
II.2.	Perhitungan Rasio F/M (F/M ratio)	138
II.3.	Perhitungan Umur Lumpur (SRT).....	139
II.4.	Perhitungan Kebutuhan Oksigen.....	140
II.5.	Perhitungan SVI (<i>Sludge Volume Indeks</i>).....	145
LAMPIRAN C	Data Debit Air Limbah	147
III.1.	Data debit air limbah dari proses produksi	147
III.2.	Data debit air limbah dari sampling	147
III.3.	Data debit air limbah rata-rata	147
LAMPIRAN D	Perhitungan Analisis Beban Kerja	149
IV.4.	Perhitungan Beban Kerja.....	149

LAMPIRAN E Kuesioner Sumber Daya Manusia	153
LAMPIRAN F DOKUMENTASI PENELITIAN	159
PROSEDUR ANALISIS AIR LIMBAH	163
BIOGRAFI PENULIS	167

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah	8
Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Tangki Aerasi	17
Tabel 2.3 Kriteria Desain Variabel Kontrol SBR	19
Tabel 2.3 Contoh Risiko Murni	21
Tabel 2.4 Contoh Risiko Spekulatif	21
Tabel 2.5 Kategori Nilai <i>Likelihood</i>	25
Tabel 2.6 Kategori Nilai <i>Consequence</i>	27
Tabel 2.7 Simbol <i>Logic Gates</i> Pada FTA	30
Tabel 2.8 Simbol <i>Input Events</i> Pada FTA	31
Tabel 2.9 Skala Kuantifikasi dari <i>S,O,D</i>	35
Tabel 2.10 Indikator <i>Severity</i> dalam Perspektif Proses	36
Tabel 2.11 Indikator <i>Occurance</i> dalam Perspektif Proses	38
Tabel 2.12 Indikator <i>Detection</i> dalam Perspektif Proses	39
Tabel 2.13 Daftar Penelitian Terdahulu	42
Tabel 4.1 Karakteristik awal air limbah PT X	61
Tabel 4.2 Rasio BOD/COD Air Limbah PT X	61
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Effisiensi Kinerja IPAL Trial 1	69
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Effisiensi Kinerja IPAL Trial 2	70
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Effisiensi Kinerja IPAL Trial 3	71
Tabel 4.6 Pembobotan Nilai pada Faktor Risiko Utama	82
Tabel 4.7 Nilai Pengaruh Risiko Dasar Teknis	82
Tabel 4.8 Pembobotan Nilai pada Aspek Teknis	85
Tabel 4.9 Nilai Pengaruh Risiko Dasar SDM	86
Tabel 4.10 Pembobotan Nilai pada Aspek SDM	87
Tabel 4.11 Kategori Nilai <i>Severity</i>	88

Tabel 4.12 Kategori Skala Risiko	88
Tabel 4.13 Kategori Skala Kondisi Lingkungan.....	89
Tabel 4.14 Skala Penilaian Beban BOD.....	90
Tabel 4.15 Skala Penilaian Rasio F/M	91
Tabel 4.16 Skala Penilaian Umur Lumpur.....	92
Tabel 4.17 Skala Penilaian Kebutuhan Oksigen	93
Tabel 4.18 Skala Penilaian SVI	94
Tabel 4.19 Penilaian <i>Severity</i> pada Aspek Teknis	95
Tabel 4.20 Skala Penilaian Kuantitas	96
Tabel 4.21 Skala Penilaian Kualitas	97
Tabel 4.22 Pengalaman Kerja Operator IPAL PT X.....	98
Tabel 4.23 Penilaian <i>Severity</i> pada Pengalaman Kerja	98
Tabel 4.24 Penilaian <i>Severity</i> pada Aspek SDM.....	98
Tabel 4.25 Kategori Nilai <i>Occurance</i> Teknis	99
Tabel 4.26 Kategori Nilai <i>Occurance</i> SDM.....	101
Tabel 4.27 Penilaian <i>Occurance</i> Teknis.....	102
Tabel 4.28 Penilaian <i>Occurance</i> SDM	103
Tabel 4.29 Kategori Nilai <i>Detection</i> Teknis	104
Tabel 4.30 Kategori Nilai <i>Detection</i> SDM	105
Tabel 4.31 Penilaian <i>Detection</i> Teknis	107
Tabel 4.32 Penilaian <i>Detection</i> SDM.....	107
Tabel 4.33 Perhitungan RPN Aspek Teknis	108
Tabel 4.34 Perhitungan RPN Aspek SDM.....	109
Tabel 4.35 Hasil Perangkingan Risiko Aspek Teknis	110
Tabel 4.36 Hasil Perangkingan Risiko Aspek SDM	111

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Pengolahan dengan <i>Activated Sludge</i>	13
Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Manajemen Risiko.....	23
Gambar 2.3 <i>Worksheet</i> Umum FMEA.....	35
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian	49
Gambar 3.2 Titik Pengambilan Sampel Air Limbah	52
Gambar 3.3 Diagram Alir Identifikasi Risiko.....	56
Gambar 3.4 Diagram Alir Penilaian Risiko	57
Gambar 4.1 Bak Equalisasi	63
Gambar 4.2 Tangki Aerasi 1.....	64
Gambar 4.3 Tangki Aerasi 2.....	65
Gambar 4.4 Tangki Aerasi 3.....	66
Gambar 4.5 Tangki Aerasi 4/SBR	67
Gambar 4.6 Bak Kontrol IPAL PT X.....	68
Gambar 4.7 Diagram Alir Debit Air Limbah IPAL PT X	73
Gambar 4.8 Diagram Mass Balance	75
Gambar 4.9 Diagram FTA Pengolahan Air Limbah PT X	83
Gambar 4.10 Kompresor Udara Shundu.....	112

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

PT X merupakan industri yang bergerak di bidang pengolahan hasil perikanan. Hasil perikanan tersebut didapat dari tangkapan hasil laut seperti udang, ikan, dan rajungan. Hasil tangkapan tersebut diolah PT X menjadi aneka produk setengah jadi dan produk jadi. Contoh produk olahan ikan PT X yang bermanfaat bagi masyarakat yakni, produk ikan beku, udang beku, dan hasil olahan, seperti *nugget*, bakso dll.

Akan tetapi disamping memproduksi sesuatu yang bermanfaat, kegiatan produksi PT X juga menimbulkan suatu dampak negatif. Contoh dampak negatif dari kegiatan produksi PT. X ini umumnya berkaitan dengan penggunaan air. Dalam setiap tahap proses produksi di PT. X sebagian besar menggunakan air guna mendukung prosesnya, mulai dari pencucian ikan hingga pengolahan bahan mentah menjadi produk yang diinginkan. Keluaran dari penggunaan air tersebut yang umumnya disebut sebagai air limbah. Menurut Supriyatno (2000), definisi dasar air limbah adalah air bekas yang tidak terpakai yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia dalam memanfaatkan air bersih.

Air limbah industri pengolahan hasil perikanan seperti PT X berpotensi dapat mencemari lingkungan, karena kandungan polutannya mampu menipiskan kandungan oksigen terlarut di danau, sungai dan badan air lainnya. Dekomposisi polutan air limbah juga bersifat toksik pada kehidupan akuatik dan publik (Ching dan Redzwan, 2017). Menurut Tay *dkk* (2006), Parameter polutan terpenting yang terkandung dalam air limbah industri pengolahan hasil perikanan adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Total Suspended Solid* (TSS), *Ammonia Nitrogen* (NH₃-N).

Dalam upaya pencegahan pencemaran lingkungan, industri PT. X telah mengolah air limbahnya dengan menggunakan Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL) dengan kapasitas 750 m³/hari. Tujuannya adalah agar air limbah yang terolah dapat memenuhi baku mutu yang sesuai dengan Pergub Jawa Timur No.

72 Tahun 2013. Pengolahan air limbah dapat dilakukan secara fisik-kimia maupun biologis. Alternatif pengolahan fisik-kimia yang digunakan umumnya adalah sedimentasi, koagulasi-flokulasi. Sedangkan pengolahan biologisnya dapat menggunakan bakteri aerobik atau anaerobik (Rosidi dan Razif, 2017). Dalam sistem pengolahan air limbahnya PT X menggunakan prinsip pengolahan secara biologis dengan menggunakan sistem *activated sludge* (Wulansari, 2011).

Dalam menjaga kualitas efluen IPAL PT. X agar tetap baik, adalah dengan menjaga kinerja IPAL itu sendiri (Kawasaki *dkk.*, 2011). Namun dari hasil analisis laboratorium menunjukkan kadar COD diakhir IPAL PT X tidak memenuhi baku mutu, dimana kandungan TSS dan COD terakhir setelah pengolahan rata-rata berturut-turut sebesar 65,6 mg/L dan 204,1 mg/L dan dengan batas maksimum yang diperbolehkan sebesar 30 mg/L dan 150 mg/L begitu juga dengan kandungan *ammonia nitrogen* sebesar 14,4 mg/L dengan batas maksimum 5 mg/L.

Permasalahan di atas merupakan kegagalan yang timbul akibat sistem IPAL yang tidak berjalan sesuai dengan standar. Penyebab dari suatu kegagalan di atas diakibatkan oleh efek ketidakpastian yang disebut sebagai risiko (Borghesi dan Gaudenzi, 2013). Untuk itulah dibutuhkan sebuah analisis risiko terhadap operasional IPAL PT X yang ditinjau dari aspek teknis dan sumber daya manusia pengelola IPAL.

Analisis risiko dalam penelitian ini dilakukan dengan konsep manajemen risiko. Tujuan dari manajemen risiko sendiri adalah untuk mengelola risiko dengan cara meminimalkan dampak dari risiko negatif pada sistem IPAL seperti penurunan kinerja IPAL yang menyebabkan penurunan kualitas effluen IPAL. Definisi dari manajemen risiko adalah proses identifikasi, evaluasi, pemilihan, dan penerapan tindakan untuk mengurangi risiko terhadap kesehatan manusia dan ekosistem (Presidential U.S, 1997). Terdapat 5 proses dalam melakukan manajemen risiko yakni konsultasi dan komunikasi, membangun konteks, penilaian risiko, perlakuan risiko, pemantauan dan peninjauan. Penilaian risiko dibagi menjadi tiga tahap, identifikasi risiko, analisis risiko, evaluasi risiko (The Australian/New Zealand Standards, 2009).

Di dalam penelitian ini, manajemen risiko dilakukan dengan penilaian risiko dan penanganan risiko. Penelitian ini dimulai dari tahap identifikasi potensi risiko yang menjadi faktor penyebab kegagalan dalam pengolahan air limbah yang kemudian didapatkan tindakan penanganan yang tepat. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA). FTA digunakan untuk identifikasi potensi risiko kegagalan operasional serta untuk mengetahui faktor penyebab risiko dari elemen yang paling kecil (Wulandari, 2011). Sedangkan FMEA digunakan untuk menilai risiko yang telah teridentifikasi untuk memperoleh tingkat risiko yang paling berpengaruh dalam kegagalan suatu sistem (Rochmana, 2017).

Kombinasi dari metode FTA dan FMEA ini mempunyai keuntungan yakni dapat menginvestigasi risiko secara jelas, dikarenakan FTA dapat mengidentifikasi risiko penyebab kegagalan atau *failure mode* sampai pada level dasar dan mudah divisualisasikan, sedangkan untuk FMEA dapat digunakan dalam menilai *consequence* dari tiap risiko sehingga menghasilkan suatu kesimpulan berupa *risk priority number* untuk menentukan prioritas risiko yang harus diberikan penanganan (Cristea dan Constatinescu, 2017).

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hasil identifikasi potensi risiko penyebab kegagalan yang mungkin terjadi di dalam operasional IPAL PT X dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA)?
2. Bagaimana hasil penilaian risiko yang berpengaruh dalam kegagalan operasional IPAL PT X dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)?
3. Apa tindakan penanganan untuk meminimalisir risiko yang paling berpengaruh pada kegagalan operasional IPAL PT X?

1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi potensi risiko penyebab kegagalan yang mungkin terjadi pada operasional IPAL PT X dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA)
2. Menilai risiko yang telah teridentifikasi untuk mendapatkan besaran nilai risiko yang berpengaruh dalam kegagalan operasional IPAL PT X dengan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)
3. Menyusun tindakan penanganan untuk meminimalisir risiko yang mempunyai pengaruh paling tinggi dalam kegagalan operasional IPAL PT X.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini bertujuan untuk membatasi lingkup penelitian. Adapun lingkup penelitian ini sebagai berikut.

1. Analisis risiko dan tindakan mitigasi IPAL PT X difokuskan pada unit *activated sludge*
Unit *activated sludge* terdiri dari bak equalisasi, tangki aerasi dan bak sedimentasi
2. Waktu penelitian dilakukan pada bulan Januari 2019 sampai Juli 2019
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder, dimana data primer didapatkan dari pengambilan sampel dan pengamatan secara langsung pada saat penelitian sedangkan data sekunder didapatkan dari PT X dan penelitian terdahulu
4. Data primer kuantitatif berupa debit dan parameter kualitas air limbah yakni pH, COD, BOD, TSS, serta NH₃-N. Serta data primer kualitatif berupa pengamatan secara langsung kondisi eksisting proses operasional IPAL PT X dan wawancara narasumber terkait
5. Data sekunder berupa skema proses pengolahan air limbah, denah IPAL, data rekening penggunaan air bersih

6. Baku mutu air limbah yang digunakan adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013
7. Metode FTA dilakukan pada tahap identifikasi risiko penyebab kegagalan atau *failure mode*
8. Metode FMEA dilakukan pada tahap analisis risiko atau penilaian risiko
9. Aspek yang akan dianalisis dalam operasional IPAL ini adalah :
 - a) Aspek sumber daya manusia berupa operator IPAL PT X.
 - b) Aspek teknis berupa unit proses pengolahan air limbah PT X.

1.5. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai bentuk saran kepada pihak PT. X untuk dapat meminimalisir risiko yang mungkin terjadi. Selain itu juga dapat menjadi saran bagi penelitian selanjutnya dalam penyelesaian permasalahan lingkungan terutama mengenai pengolahan air limbah Industri PT X.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian tugas akhir ini terdapat beberapa dasar teori dan referensi mengenai penelitian manajemen risiko yang pernah dilakukan. Dasar teori dan referensi penelitian terdahulu digunakan sebagai landasan atau acuan dalam penelitian tugas akhir ini.

2.1. Industri Pengolahan ikan

Industri pengolahan ikan adalah industri yang bergerak dalam bidang pengolahan hasil laut dan perikanan. Tahapan pengolahan hasil perikanan meliputi proses pencucian, pembilasan, pemasakan dan *soaking* (Pradianti dan Sunaya, 2018). Sedangkan menurut UKEssays (2013), Industri perikanan merupakan industri atau kegiatan yang terkait dengan pengolahan, pelestarian, penyimpanan, pengangkutan, pemasaran atau penjualan ikan atau produk ikan. Jenis industri pengolahan ikan meliputi perikanan komersial, pengolahan ikan, produk ikan dan pemasaran ikan.

2.1.1. Sumber Air Limbah Industri Perikanan

Air limbah industri pengolahan ikan dihasilkan dari aktivitas non operasional dan proses produksi (Pradianti dan Sunaya, 2018). Menurut Wulansari (2011), proses produksi yang menghasilkan air limbah yakni mulai dari pencucian bahan baku, proses pasteurisasi hingga sisa sisa proses pengolahan. Hal tersebut sesuai dengan Ginting (2007), yang menyatakan bahwa limbah cair umumnya dijumpai pada industri yang menggunakan air dalam proses produksinya, mulai dari pra pengelolaan bahan baku, seperti pencucian, sebagai bahan penolong, sampai pada produksi akhir menghasilkan limbah cair.

2.1.2. Baku Mutu Air Limbah Industri Pengolahan Ikan

Sesuai dengan pasal 1 ayat 31 Permen LH No. 5 tahun 2014 menyatakan bahwa Baku mutu air limbah adalah ukuran

batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam media air dari suatu usaha dan/atau kegiatan. Baku mutu yang digunakan dalam pengolahan air limbah PT X adalah Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 yang mengatur tentang baku mutu air limbah bagi industri pengolahan hasil perikanan. Berikut adalah Tabel 2.1 yang memuat baku mutu air limbah industri pengolahan hasil perikanan untuk wilayah Jawa Timur.

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah

BAKU MUTU AIR LIMBAH UNTUK INDUSTRI PENGOLAHAN HASIL PERIKANAN			
Parameter	Pengalengan Ikan	Lebih dari Satu Jenis Kegiatan Pengolahan	Industri Perikanan dengan IPAL Terpusat
	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)	Kadar Maksimum (mg/L)
pH	6,0-9,0	6,0-9,0	6,0-9,0
TSS	30	30	30
Sulfida (H₂S)	1	1	1
NH₃-N (Total)	5	5	5
Khlor bebas	1	1	1
BOD₅	75	100	100
COD	150	150	150
Minyak & Lemak	6,5	15	10
Volume Air Limbah (m³/ton bahan baku ikan)		5	

Sumber : Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

2.1.3. Karakteristik Air Limbah Industri Pengolah Ikan

Karakteristik dari air limbah industri pengolahan ikan yakni memiliki kandungan polutan organik yang sangat besar. Beberapa parameter polutan yang berpotensi menimbulkan pencemaran yaitu BOD, COD, TSS, NH_3 bebas, dan pH (Nidah, 2015). Berikut adalah beberapa pencemar yang terdapat pada air limbah industri pengolahan ikan :

- *Biochemical Oxygen Demand (BOD)*
BOD merupakan jumlah kebutuhan oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam oksidasi kimiawi senyawa organik dalam air limbah. Hasil analisis BOD digunakan untuk menentukan prakiraan kuantitas oksigen yang dibutuhkan untuk stabilisasi bahan organik yang ada secara biologis. Apabila didalam air limbah masih terdapat oksigen yang mencukupi maka proses biodekomposisi bahan organik secara aerobik akan tetap berlangsung hingga limbah organik telah habis dikonsumsi. Terdapat 3 tahap dalam dekomposisi bahan organik dalam air limbah. Pertama, oksidasi limbah organik untuk menghasilkan kebutuhan energi sel kemudian. Fase kedua yakni sintesa sel baru. Fase ketiga adalah ketika limbah organik telah habis teroksidasi kemudian sel-sel baru yang terbentuk mulai mengonsumsi bahan organik didalam sel mereka sendiri untuk mendapatkan energi respirasi fase ketiga ini disebut sebagai respirasi *endogenous* (Metcalf dan Eddy, 2003).
- *Chemical Oxygen Demand (COD)*
COD adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik dalam air limbah secara kimiawi dengan menggunakan kalium dikromat dalam keadaan asam. Tingginya nilai COD dapat terjadi ketika terdapatnya senyawa anorganik pada air limbah yang dapat bereaksi dengan kalium dikromat (Metcalf dan Eddy, 2003).
- *Total Suspended Solid (TSS)*
TSS digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui kinerja dari pengolahan air limbah dan kebutuhan penyaringan efluen dalam aplikasi *reuse*. TSS merupakan *Total Solid* atau total zat padat yang tersaring

dalam filter dengan ukuran pori tertentu yang diukur setelah pengeringan dengan suhu 105°C. Filter yang digunakan dalam analisis TSS yakni filter dengan ukuran pori antara 0.45 µm sampai dengan 2 µm (Metcalf dan Eddy, 2003).

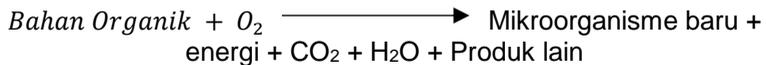
- **Ammonia Nitrogen (NH₃-N)**
Jumlah nitrogen yang ada pada bentuk amonia (NH₃) atau ion amonia (NH₄⁺) (Reynold & Richards, 1996). Keberadaan amonia dalam suatu larutan sebagai ion ammonium dan gas amonia ergantung pada pH larutan. Amonia ditentukan dengan menaikkan pH, menyaring amonia dengan uap yang dihasilkan saat sampel direbus, dan mendinginkan uap yang menyerap gas ammonia. Pengukuran dilakukan secara kolorimetri, titrimetri, atau dengan elektroda ion spesifik (Metcalf dan Eddy, 2003).
- **Derajat Keasaman (pH)**
pH merupakan derajat keasaman dalam air limbah yang berupa ion H⁺ yang membentuk suasana dalam reaksi kimiawi (Sawyer *dkk.*, 2003). Besaran untuk nilai pH dikatakan normal adalah kurang lebih sebesar 7, apabila nilai pH di bawah 7 termasuk dalam nilai pH asam dan jika nilai pH di atas 7 maka termasuk pH basa. Kondisi pH pada air limbah sangat berbeda-beda, tergantung pada jenis limbahnya. Perubahan pH pada area perairan akan menyebabkan terganggunya ekosistem perairan itu sendiri (Nasution, 2008)

Menurut Yudo (2010), Kandungan polutan terbesar dalam air limbah industri pengolah ikan terletak pada parameter COD mulai dari 1011 mg/L hingga 14402 mg/L. Perbandingan rasio BOD/COD berkisar antara 0.4 dan 0.5.

2.2. Sistem Lumpur Aktif

Proses biologis dengan biakan tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan yang ada di dalam air dan mikroorganisme yang digunakan atau dibiakkan secara tersuspensi di dalam suatu reactor (Said, 2008). Proses ini secara prinsip merupakan pengolahan aerobik dimana senyawa organik

dioksidasi menjadi CO_2 , H_2O , NH_4 , dan sel baru. Berikut adalah persamaan reaksi proses biokimia dalam unit pengolah air limbah (Reynold Reynold & Richards, 1996).



Proses pengolahan biologis dengan biakan tersuspensi ini yang telah banyak digunakan secara umum adalah proses lumpur aktif (Activated Sludge). Berikut adalah skema proses pengolahan air limbah dengan sistem lumpur aktif konvensional dapat dilihat pada Gambar 2.1

Proses pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif secara umum terdiri dari bak equalisasi, pengendap awal, bak lumpur aktif, dan bak pengendap akhir. Air limbah dari bak equalisasi dipompa ke bak lumpur aktif, di dalam bak ini air limbah dihembus dengan udara dari blower. Hal ini bertujuan agar bakteri dalam air limbah dapat melakukan metabolisme untuk mengurai bahan organik. Energi hasil penguraian bahan organik digunakan bakteri untuk proses pertumbuhan dan pembentukan sel baru. Dengan demikian di dalam bak aerasi akan tumbuh biomassa dengan jumlah yang besar, dan biomassa inilah yang akan mengurai bahan organik di dalam air limbah. Dari bak lumpur aktif ini air limbah yang bercampur dengan biomassa dialirkan ke bak pengendap akhir untuk dipisahkan. Biomassa yang mengendap (idealnya) akan dikembalikan sebagian pada bak lumpur aktif sedangkan air yang jernih dibuang ke badan air penerima. Surplus lumpur dari bak pengendap akan ditampung dalam bak pengering lumpur (drying bed) dan airnya dikembalikan ke dalam bak equalisasi untuk diproses lagi. Keunggulan dari proses lumpur aktif ini adalah mampu mengolah limbah dengan beban BOD yang besar, sedangkan kelemahannya adalah dapat terjadi buih atau bulking pada lumpur aktif.

Dalam proses pengolahan limbah menggunakan lumpur aktif, terdapat parameter operasional yang perlu dipenuhi agar pengolahan limbah berjalan dengan optimal. Variable perencanaan yang umum digunakan dalam proses pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif adalah sebagai berikut (Said, 2008) :

- 1) Beban BOD Rate (Beban BOD)

Beban BOD adalah jumlah massa BOD dalam air limbah yang akan diolah dalam reaktor lumpur aktif. Beban BOD dapat dihitung dengan persamaan 2.1.

$$\text{Beban BOD} = \frac{Q \times S_o}{V} \text{ (kg/ m}^3 \text{ . Hari)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

- Q = Debit Rata-rata air limbah (m³)
- S_o = Konsentrasi BOD dalam air limbah (kg/m³)
- V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m³)

2) Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

MLSS adalah campuran air limbah dengan bakteri atau biomassa serta padatan tersuspensi lainnya yang berada di dalam bak lumpur aktif. MLSS ditentukan dengan cara menyaring 1 liter lumpur aktif pada kertas saring (filter) dan filter tersebut dikeringkan dengan suhu 105° C, kemudian padatan tersebut ditimbang (mg/l).

3) Mixed Liquor Volatile Suspended Solids (MLVSS)

MLVSS merupakan material organik bukan mikroba. MLVSS dikur dengan memanaskan terus sampel filter sampai kering dengan temperatur 600-650° C sampai nilainya mendekati 65-75% dari MLSS.

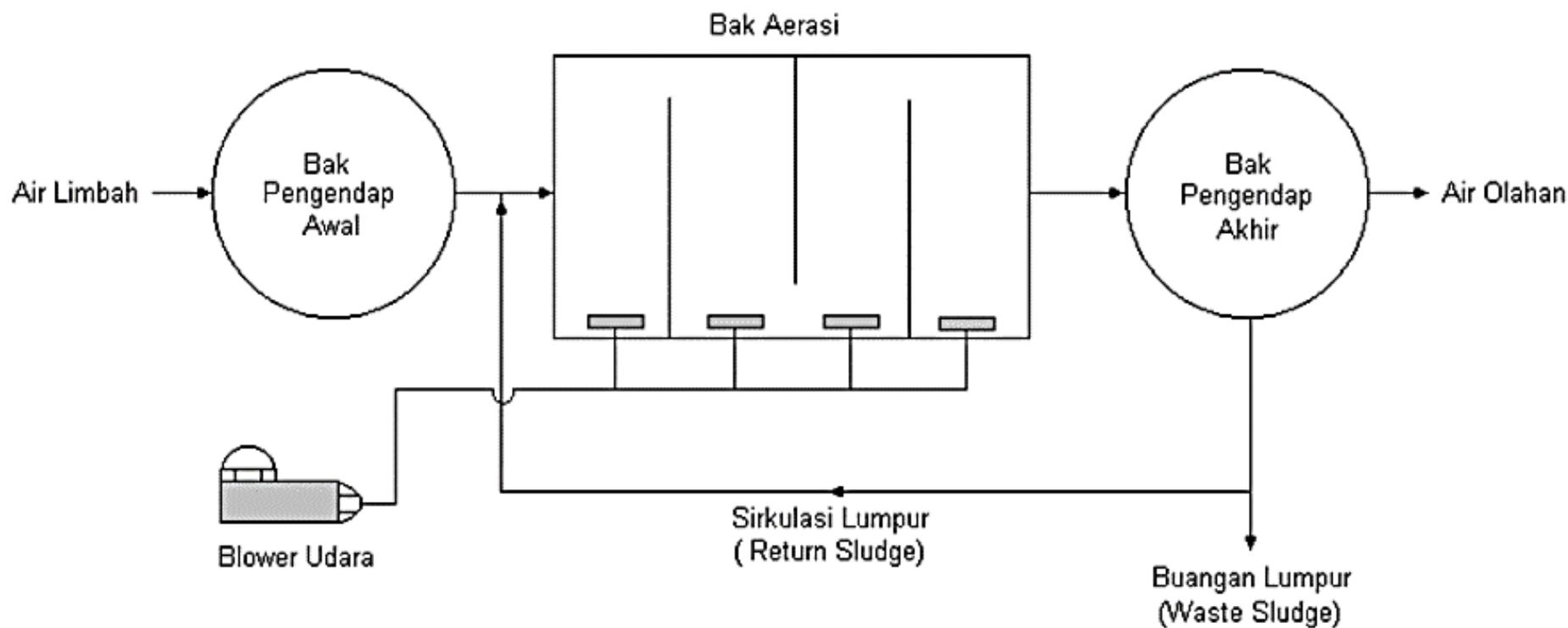
4) Food to Microorganism Ratio (F/M Rasio)

F/M merupakan perbandingan antara jumlah bahan organik yang akan diurai (BOD) dengan jumlah mikroorganisme pengurai yang ada dalam bak lumpur aktif. Besarnya nilai F/M ditunjukkan dalam satuan kilogram BOD per kilogram MLSS per hari. Perhitungan F/M dapat dilihat dalam persamaan 2.2

$$F/M = \frac{Q \times (S_o - S_e)}{MLSS \times V} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

- Q = Debit Rata-rata air limbah (m³)
- S_o = Konsentrasi BOD dalam air limbah (kg/m³)
- S = Konsentrasi BOD dalam efluen limbah (kg/m³)
- MLSS = Mixed Liquor Suspended Solids (kg/m³)
- V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m³)



Gambar 2.1 Skema Pengolahan dengan *Activated Sludge*
 Sumber : Said, 2008

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Rasio F/M dikontrol dengan cara mengatur laju resirkulasi lumpur aktif dari bak pengendapan yang dikembalikan ke reaktor lumpur aktif. Semakin tinggi laju resirkulasi lumpur aktif, maka semakin tinggi pula rasio F/M nya. Untuk proses lumpur aktif konvensional, rasio F/M adalah 0,2 – 0,4 Kg BOD/ Kg MLSS/ Hari. Rasio F/M yang rendah menunjukkan bahwa mikroorganisme dalam bak lumpur aktif dalam kondisi lapar, semakin rendah rasio F/M maka pengolahan limbah semakin efisien.

5) Hydraulic Retention Time (HRT)

HRT adalah waktu rata-rata air limbah berada dalam bak aerasi untuk proses penguraian bahan organik. Dapat dikatakan waktu air limbah masuk ke dalam bak aerasi sampai keluar ke unit pengolahan selanjutnya. HRT dapat dihitung dengan persamaan 2.3.

$$HRT = \frac{V}{Q} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m³)

Q = Debit Rata-rata air limbah (m³)

6) Rasio Sirkulasi Lumpur

merupakan perbandingan antara jumlah lumpur yang disirkulasikan dari bak pengendap ke bak aerasi dengan jumlah limbah yang masuk ke bak aerasi.

7) Sludge Retention Time (SRT)

SRT merupakan waktu tinggal rata-rata lumpur aktif (mikroorganisme) dalam sistem lumpur aktif. Parameter ini berbanding terbalik dengan laju pertumbuhan mikroorganisme. Umur Lumpur dapat dihitung dengan persamaan 2.4.

$$\text{Umur Lumpur} = \frac{MLSS \times V}{(SSe \times Q_e) + (SSw \times Q_w)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

V = Volume Reaktor Lumpur Aktif (m³)

SSe = Padatan Tersuspensi dalam Efluen (mg/l)

SSw = Padatan Tersuspensi dalam Lumpur Limbah (mg/l)

Qe = Debit Efluen Limbah (m³/hr)

Qw = Debit Influen Limbah (m³/hr)

Parameter yang paling penting dalam sistem lumpur aktif ini adalah beban limbah (Beban BOD), suplai oksigen, dan pengendalian bak pengendap akhir (Said, 2008). Campuran air limbah dan lumpur aktif yang telah di aerasi dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak pengendap ini mikroorganisme (lumpur) yang masih aktif dipisahkan dari air limbah yang telah diolah, sebagian lumpur dikembalikan ke bak aerasi dan sebagian lagi dibuang pada unit pengolah lumpur. Proses pengendapan lumpur tergantung dari rasio F/M, pengendapan terjadi dengan baik pada rasio F/M rendah, dan sebaliknya rasio F/M yang tinggi akan mengakibatkan pengendapan lumpur yang buruk.

Beberapa contoh proses pengolahan dengan sistem ini antara lain : *aeration tank*, *step aeration*, *contact stabilization*, *extended aeration*, dan *oxidation ditch* (kolam oksidasi sistem parit) dan lainnya.

2.2.1. Unit Pengolahan Air Limbah *Aeration Tank*

Aeration tank atau tangki aerasi umumnya dibangun dari beton bertulang dan dibiarkan terbuka ke atmosfer. Kebutuhan total kapasitas tank seharusnya ditentukan berdasarkan desain proses biologisnya. Untuk bangunan berkapasitas antara 0.22 sampai 0.44 m³/s setidaknya terdapat 2 tangki dengan tujuan redundansi. Untuk range antara 0.44 sampai 2.2 m³/s dibutuhkan 4 tangki untuk memudahkan dalam operasional dan perawatan.

Apabila air limbah yang akan di aerasi secara difusi, bentuk dari tangki memungkinkan berdampak pada efisiensi aerasi dan banyaknya pencampuran yang diperoleh. Kedalaman dari tangki bervariasi antara 4.5 dan 7.5 m untuk memaksimalkan efisiensi energi dari sistem diffuser. freeboard yang dibutuhkan mulai dari 0.3 sampai dengan 0.6 m dari atas ketinggian air. rasio lebar dan kedalaman bangunan bervariasi antara 1:1 sampai dengan 2.2:1 (Metcalf & Eddy, 2003).

Tangki aerasi harus mampu mensuplai oksigen untuk populasi bakteri aerobik dan fakultatif yang sangat besar. Kandungan oksigen terlarut dalam air limbah harus tetap konsisten yakni 2-3 mg/L. Apabila kandungan oksigen terlarut (DO) < 1 mg/L dapat menyebabkan munculnya *filamentous bacteja*. Berikut

adalah kriteria perencanaan tangki aerasi menurut said (2008) yang dapat dilihat dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Kriteria Perencanaan Tangki Aerasi

Variabel Kontrol	Angka	Satuan
Bebab BOD		
BOD MLSS Loading	0,2-0,4	kg/kg.hari
BOD Volume Loading	0,3-0,7	kg/m ³ .hari
MLSS	1000-3000	mg/L
F/M rasio	0,2-0,4	kg/kg.hari
SRT (Umur Lumpur)	3-15	hari
Waktu aerasi	4-8	jam
Rasio Resirkulasi	0,2-0,4	
Effisiensi Pengolahan	85-95	%

Sumber : Metcalf dan Eddy, 2003

2.2.2. Unit Pengolah *Sequencing Batch Reactor*

SBR adalah variasi dari proses *Activated Sludge*. Perbedaannya dengan unit *Activated Sludge* lainnya adalah adanya kombinasi dari semua tahapan dan proses pengolahan yang terjadi dalam bak tunggal. Operasional dari SBR sendiri adalah berdasarkan prinsip *Fill* dan *Draw* atau isi dan keluar, dimana terdapat 5 tahapan mulai dari *fill*, *react*, *settle*, *decant*, dan *idle*. Berikut adalah penjabaran dari proses didalam SBR.

Fill (Pengisian)

Selama tahap proses pengisian atau *fill* terjadi, bak SBR menerima influen air limbah. Influen membawa makanan/nutrisi untuk mikroba didalam *Activated Sludge*, menciptakan lingkungan/suasana yang cocok untuk terjadinya reaksi biokimia. *Mixing* dan aerasi bisa divariasikan selama tahap pengisian dengan tujuan untuk menciptakan tiga kondisi yang berbeda:

a. Static Fill (Pengisian Statis)

Tidak dilakukan proses pengadukan maupun aerasi selama pengisian reaktor oleh air limbah pada tahap pengisian statis ini. Dengan tidak dilakukannya proses pengadukan dan aerasi, maka tidak akan terjadi proses nitrifikasi maupun denitrifikasi. Selain itu juga akan mengurangi penggunaan energi karena pengaduk (*mixer*) dan *aerator* berada dalam keadaan mati.

b. Mixed Fill (Pengisian Teraduk)

Dilakukan proses pengadukan tanpa proses aerasi, dengan kata lain pengaduk (*mixer*) tetap menyala tetapi *aerator* berada dalam keadaan mati. Pengondisian ini menyebabkan terciptanya kondisi *anoxic* yang memicu terjadinya proses denitrifikasi. Tetapi tidak menutup kemungkinan terciptanya kondisi anaerobik yang akan menyebabkan terlepasnya senyawa fosfor selama tahap pengisian teraduk ini.

c. Aerated Fill (Pengisian Teraerasi)

Pada tahap pengisian teraerasi ini dilakukan proses aerasi dan pengadukan selama pengisian air limbah influen ke dalam reaktor. Pada tahap ini akan tercipta kondisi yang sepenuhnya aerobik. Tidak ada pengaturan untuk siklus pengisian teraerasi yang dibutuhkan agar tercapai kondisi dimana terjadi proses nitrifikasi maupun penurunan zat organik. *Dissolved Oxygen* (DO) harus dijaga agar tetap di atas 2 mg/L, agar kondisi aerobik tetap terjaga.

React

Di tahapan ini terdapat reduksi atau penyisihan parameter air limbah. Selama tahapan ini berlangsung, tidak ada air limbah yang masuk ke dalam bak. Karena, dengan begitu tidak ada penambahan beban volumetrik maupun organik sehingga proses penyisihan bahan organik meningkat secara signifikan.

Settle

Selama proses ini berlangsung, lumpur aktif dapat terendapkan dalam kondisi tenang dalam artian tidak ada aliran

yang masuk dan tidak ada proses aerasi atau pengadukan yang berjalan. Lumpur aktif yang mengendap cenderung terendapkan sebagai massa flokuler. Membentuk antarmuka yang khas dengan supernatan yang bersih. Massa lumpur disebut sebagai *sludge blanket*. Tahapan ini merupakan bagian paling terpenting karena jika padatan tidak terendapkan dengan baik maka beberapa lumpur dapat tertarik selama proses *decant* berlangsung dan tentunya mengurangi kualitas effluen.

Decant

Tahapan ini digunakan untuk mengeluarkan effluen *supernatan* bening. Selama proses pengeluaran effluen lumpur yang telah diendapkan diusahakan untuk tidak ikut keluar bersamaan dengan *supernatan*.

Idle

Tahapan ini terjadi diantara tahap *decant* dan *fill* berlangsung. Selama tahapan ini berlangsung sebagian kecil dari lumpur aktif yang berada dibawah SBR dipompa keluar-proses tersebut disebut sebagai nama pembuangan.

Berikut adalah Tabel 2.3 yang berisikan kriteria desain variabel kontrol pada unit SBR.

Tabel 2.3 Kriteria Desain Variabel Kontrol SBR

Variabel Kontrol	Angka	Satuan
Beban BOD	0,1-0,3	kg BOD/m ³ .hari
F/M	0,04-0,1	kg BOD/kg MLVSS
Waktu detensi (Td)	15-40	jam
MLSS	2000-5000	mg/L
SRT (Umur Lumpur)	15-30	hari
SVI	100-150	mL/g

Sumber: Metcalf dan Eddy, 2014

2.3. Risiko

Menurut Crane *dkk* (2013), risiko adalah peluang kehilangan atau hasil yang merugikan terkait dengan suatu tindakan. Ketidakpastian adalah tidak mengetahui apa yang akan terjadi di masa depan. Semakin besar ketidak pastian semakin besar juga risikonya. Sedangkan menurut *Australian/New Zealand Standard* (2009), risiko adalah efek dari sebuah ketidakpastian pada tujuan. Risiko seringkali diungkapkan dalam istilah kombinasi dari aspek *consequences* dari suatu kejadian termasuk perubahan dalam keadaan dan terkait dengan kemungkinan. Sehingga risiko dapat diukur pada aspek *consequences* (konsekuensi) dan likelihood (probabilitas/peluang).

Menurut Pinontoan (2010), risiko adalah dampak negatif dari suatu kejadian atau keputusan yang diambil dan beberapa pengertian lain tentang risiko, diantaranya adalah :

1. Risiko adalah ketidakpastian akan terjadinya peristiwa yang menimbulkan kerugian ekonomis.
2. Risiko adalah sesuatu yang tidak dapat diprediksi, dimana kadang kala kenyataan yang terjadi berbeda dengan hasil prediksinya.
3. Risiko adalah kemungkinan terjadinya peristiwa yang tidak menguntungkan
4. Risiko adalah kemungkinan kerugian (*Risk is the chance of loss*).
5. Risiko adalah kombinasi dari berbagai keadaan yang mempengaruhinya (*Risk is the combination of hazards*).

Terdapat 2 tipe risiko menurut Hanafi, (2014) yakni risiko murni dan risiko spekulatif. Risiko murni adalah risiko yang dapat mengakibatkan kerugian namun tidak dapat menghasilkan keuntungan.

Sedangkan risiko spekulatif adalah risiko yang dapat mengakibatkan kerugian dan menghasilkan keuntungan. Berikut adalah beberapa contoh dari risiko murni dan risiko spekulatif disajikan dalam Tabel 2.1 dan Tabel 2.2

Tabel 2.3 Contoh Risiko Murni

Tipe Risiko	Definisi	Ilustrasi
Risiko Aset Fisik	Risiko yang terjadi karena kejadian tertentu berakibat buruk (kerugian) pada aset fisik organisasi	kebakaran yang melanda gudang atau bangunan perusahaan. Banjir mengakibatkan kerusakan pada bangunan dan peralatan
Risiko Karyawan	Risiko karena karyawan organisasi mengalami peristiwa yang merugikan	Kecelakaan kerja mengakibatkan karyawan cedera, kegiatan operasional perusahaan terganggu
Risiko legal	Risiko kontrak tidak sesuai yang diharapkan, dokumentasi yang tidak benar	Terjadi perselisihan sehingga perusahaan lain menuntut ganti rugi yang signifikan

Sumber : Hanafi, 2014

Tabel 2.4 Contoh Risiko Spekulatif

Tipe Risiko	Definisi	Ilustrasi
Risiko Pasar	Risiko yang terjadi dari pergerakan harga atau volatilitas harga pasar	Harga pasar saham dalam portofolio perusahaan mengalami penurunan, yang mengakibatkan kerugian yang dialami perusahaan

Tipe Risiko	Definisi	Ilustrasi
Risiko Likuiditas	Risiko tidak bisa memenuhi kebutuhan kas. Risiko tidak bisa menjual dengan cepat karena ketidaklikuidan atau gangguan pasar	Perusahaan tidak mempunyai kas untuk membayar kewajibannya (misal melunasi hutang). Perusahaan terpaksa menjual tanah dengan harga murah (di bawah standar) karena sulit menjual tanah tersebut (tidak likuid), padahal perusahaan membutuhkan kas dengan cepat
Risiko Operasional	Risiko kegiatan operasional tidak berjalan lancar dan mengakibatkan kerugian: kegagalan sistem, human error, pengendalian dan prosedur yang kurang	Komputer perusahaan terkena virus sehingga operasi perusahaan terganggu. Prosedur pengendalian perusahaan tidak memadai sehingga terjadi pencurian barang-barang yang dimiliki perusahaan

Sumber : Hanafi, 2014

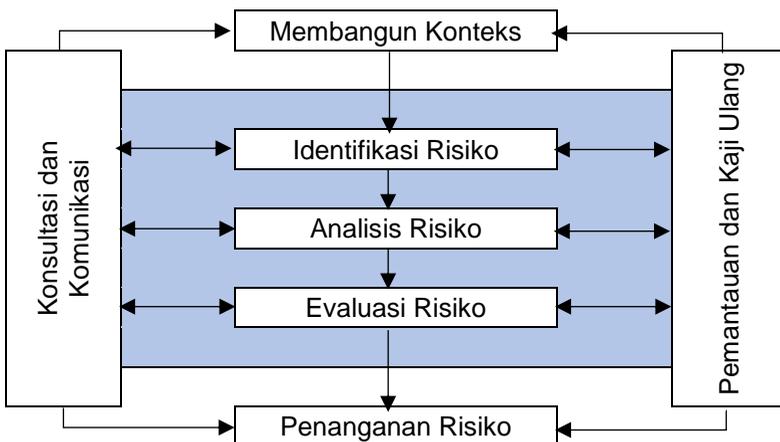
2.4. Manajemen Risiko

Menurut *The Australian/New Zealand Standards* (2009), proses manajemen risiko merupakan penerapan sistematis dari kebijakan manajemen, prosedur, dan praktik komunikasi, konsultasi, penetapan konteks, identifikasi, analisis, evaluasi, perlakuan, pemantauan, dan peninjauan risiko. Manajemen risiko didefinisikan sebagai suatu pendekatan ilmiah guna menangani suatu risiko dengan mengantisipasi kemungkinan terjadi kerugian dan merancang serta menerapkan prosedur yang meminimalkan

kerugian atau dampak keuangan dari kerugian yang terjadi sehingga manajemen risiko mampu memberikan berbagai kontribusi (Vaughan dan Vaughan, 2008). Berikut merupakan kontribusi manajemen risiko bagi suatu organisasi.

1. Membantu organisasi untuk mencapai tujuan umum organisasi dengan berbagai cara.
2. Memberikan keuntungan dengan mengendalikan biaya risiko untuk organisasi yang ingin mencapai tujuan ekonomi.
3. Mengurangi biaya melalui langkah-langkah dalam pengendalian risiko.
4. Selain mengurangi biaya yang berhubungan dengan kerugian, manajemen risiko mampu meningkatkan pendapatan dalam bebrap kasus.

Keberhasilan manajemen risiko bergantung pada efektifitas dari kerangka manajemen menyediakan dasar dan arahan yang akan menanamkannya ke seluruh organisasi/elemen di semua level. Proses manajemen risiko seharusnya bagian dari manajemen yang terintegrasi, ditanamkan dalam budaya dan dilakukan, serta disesuaikan dengan proses yang dijalani. Berikut adalah diagram alir dari proses manajemen risiko yang disajikan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Diagram Alir Proses Manajemen Risiko

Sumber : AS/NZS ISO 31000: 2009

2.4.1. Membangun Konteks

Dalam tahap ini dilakukan dengan penetapan ruang lingkup, hubungan perusahaan dengan lingkungan eksternal dan internalnya, tujuan serta strategi perusahaan. Kemudian menentukan ruang lingkup dari objek manajemen risiko yang meliputi tujuan, strategi, serta aktivitas-aktivitas yang berada di dalam perusahaan.

Dalam melakukan tahap ini dapat dengan melakukan wawancara dengan pihak terkait yang paham tentang perusahaan ataupun unit bisnis yang akan dianalisa (AS/NZS ISO 31000, 2009).

2.4.2. Identifikasi Risiko

Menurut Loosemore *dkk* (2006), Identifikasi risiko adalah usaha untuk menemukan atau mengetahui risiko – risiko yang mungkin timbul dalam kegiatan yang dilakukan oleh perusahaan atau perorangan. Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan risk event. Identifikasi risiko dilakukan dengan melakukan observasi pada pekerjaan yang dilakukan dalam setiap tahapan proses kerja dan melakukan wawancara terbuka terhadap pekerja (Marbun *dkk*, 2015).

Terdapat 2 fase yang berbeda dalam identifikasi risiko menurut Dinu, (2012) yakni :

1. Identifikasi risiko awal

Identifikasi proyek atau aktivitas yang baru atau belum pernah dilakukan sebelumnya.

2. Identifikasi risiko yang sedang berlangsung

Identifikasi risiko yang baru yang sebelumnya tidak muncul, perubahan dalam risiko yang ada, atau risiko yang ada sudah tidak relevan lagi dengan kondisi yang ada.

Dalam melakukan tahap ini, dapat menggunakan observasi serta wawancara atau pengamatan secara langsung terkait kondisi perusahaan, *checklist*, pengalaman berdasarkan dokumen yang sudah ada (Rochmana, 2017).

2.4.3. Analisis Risiko

Menurut *US EPA Victoria* (2009), analisis risiko adalah penentuan aktual dari peluang/probabilitas dan besarnya suatu efek yang merugikan dengan konsekuensi spesifik yang terjadi pada penggunaan dan nilai yang menguntungkan. Dalam tahap ini dilakukan dengan pengkategorian risiko-risiko yang telah teridentifikasi. Agar dapat diketahui risiko mana yang tergolong mayor dan minor sehingga dapat mempersiapkan data serta tahapan selanjutnya.

Menurut Cameron dan Raman (2005), Analisis risiko dapat dilakukan dengan 2 jenis analisis yakni analisis kualitatif dan analisis kuantitatif.

1) Analisis Kuantitatif

Analisis ini digunakan untuk mengukur tingkat risiko dengan menggunakan perhitungan secara matematis. Analisis secara kuantitatif menggunakan nilai numerik yang meliputi nilai *consequences* serta nilai *likelihood*. Nilai *consequences* dapat ditaksir dengan melakukan permodelan terhadap keluaran dari data historis, nilai *likelihood* merupakan nilai dari frekuensi atau probabilitas kejadian tersebut (Hery, 2015).

2) Analisis Kualitatif

Proses analisis dilakukan dengan mengklasifikasikan penilaian yang ada pada Tabel 2.5 dan 2.6

Tabel 2.5 Kategori Nilai *Likelihood*

Rangking	Kategori	Range Nilai (%)	Contoh Frekuensi Kejadian
1	<i>Rare</i> (Jarang)	≤ 10	kegiatan yang dilakukan jarang menimbulkan risiko

Rangking	Kategori	Range Nilai (%)	Contoh Frekuensi Kejadian
2	<i>Unlikely</i> (Kadang-kadang)	11 – 30	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan kecil menimbulkan risiko
3	<i>Moderate</i> (Cukup Sering)	31 – 60	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang menimbulkan risiko
4	<i>Likely</i> (Sering)	61 – 80	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan besar menimbulkan risiko
5	<i>Almost certain</i> (Sangat sering)	≥ 81	Kegiatan yang dilakukan hampir selalu menimbulkan risiko

Sumber : Cameron dan Raman, 2005

Tabel 2.6 Kategori Nilai *Consequence*

Rangking	Kategori	Penjelasan	Range Nilai
1	Negligable	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak perlu dikhawatirkan	$\leq 10\%$
2	Low	Konsekuensi risiko kecil tetapi perlu adanya usaha penanganan untuk mengurangi risiko yang terjadi seperti penanganan ditempat	11 - 30
3	Medium	Konsekuensi risiko sedang maka dari itu perlu dilakukan penanganan berdasarkan prosedur normal	31 - 60
4	High	Konsekuensi risiko yang terjadi relatif besar terhadap lingkungan maka perlu dilakukan penanganan berupa pengelolaan secara intensif	61 - 80
5	Extreme	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar	≥ 81

Sumber : Cameron dan Raman, 2005

Analisis risiko dilakukan dengan cara mengkombinasikan antara nilai *likelihood* dan *consequence*. Frekuensi kejadian menunjukkan tingkat keseringan kejadian risiko akibat kegiatan yang telah dilakukan. Sedangkan untuk besaran konsekuensi menunjukkan besar dan kecil nya risiko akibat suatu kegiatan terhadap lingkungan sekitar.

2.4.4. Evaluasi Risiko

Tahap ini dilakukan untuk mengevaluasi hasil analisis risiko mencakup perbandingan hasil analisis risiko dengan kriteria yang telah ditetapkan sehingga mampu menjadi basis dalam menentukan *risk treatment* yang tepat terhadap risiko (Hery, 2015).

Hasil dari evaluasi risiko ini adalah daftar tingkat prioritas untuk tindakan lebih lanjut. Dalam mengevaluasi risiko perlu diperhatikan juga tujuan dari perusahaan dan kesempatan yang mungkin muncul. Jika risiko termasuk dalam kategori ringan, maka risiko dapat diterima dan ditangani dengan cara minimal. Jika tidak maka perlu dilakukan penindak lanjutan (*The Institute of Risk Management*, 2002).

2.4.5. Penanganan Risiko

Tahap ini dilakukan untuk menangani peristiwa-peristiwa risiko yang dapat timbul dengan melakukan modifikasi risiko yang ada. Tahap ini memiliki tujuan untuk menghasilkan metode yang tepat dalam rangka mengelola risiko dengan mengalokasikan biaya dan sumber daya yang paling efisien dan mudah untuk diimplementasikan. Menurut Frame, (2003) terdapat 4 macam bentuk strategi mitigasi risiko diantaranya adalah :

- 1) Menghindari risiko yaitu melakukan langkah agar risiko tidak terjadi.
- 2) Mengurangi risiko yaitu berusaha mengalokasikan wilayah kejadian dan atau mengurangi frekuensi kejadian risiko.
- 3) Mentransfer risiko yaitu melakukan pemindahan risiko kepada pihak tertentu semisal asuransi atau dikontrakkan ke pihak ketiga.
- 4) Menerima risiko yaitu menghadapi segala risiko yang terjadi apa adanya baik risiko yang masih dapat dikendalikan seperti kerusakan pada unit bangunan dan peralatan ataupun di luar kendali seperti risiko *force majeure* yakni terkena bencana gempa bumi, banjir, kebakaran, dan peperangan.

2.5. **Fault Tree Analysis (FTA)**

Fault Tree Analysis merupakan metode analitis yang menjelaskan secara grafik kombinasi-kombinasi dari kesalahan yang menyebabkan adanya suatu kegagalan dari sistem (Foster, 2004). *Fault Tree Analysis* adalah metode yang sering digunakan untuk studi yang berkaitan dengan risiko dan keandalan dari suatu sistem *engineering* (Priyanta, 2000). Kelebihan dari *Fault Tree Analysis* adalah dapat menginvestigasi kegagalan sistem, dapat menemukan sumber-sumber dari sistem yang terlibat pada kegagalan utama dan dapat menemukan penyebab terjadinya kegagalan poduk pada proses produksi (Setyadi, 2013).

Terdapat beberapa langkah-langkah dalam pembuatan *Fault Tree Analysis*, yaitu sebagai berikut (Setyadi, 2013).

- 1) Mendefinisikan kecelakaan.

Dalam tahap ini dilakukan identifikasi kegagalan utama yang ada pada sistem produksi

- 2) Mempelajari sistem melalui pemahaman terhadap spesifikasi peralatan, lingkungan kerja dan prosedur operasi untuk menentukan risiko penyebabnya.

Dalam tahap ini dilakukan telaah terhadap kegagalan yang terjadi pada sistem produksi sekaligus untuk menemukan risiko penyebabnya

- 3) Mengembangkan pohon kesalahan.

Dalam tahap ini dilakukan identifikasi risiko penyebab kegagalan dengan menggambarkan pada diagram pohon FTA agar dapat divisualisasikan

FTA dibuat dengan menentukan *top event* dan *basic event* yang terkait dengan sistem penomoran. Dalam membuat FTA dimulai dari sistem kegagalan yang paling tinggi kemudian dibuat percabangan hingga menyebar ke bawah sampai membangun hubungan kausalitas hingga komponen kegagalan dan kejadian paling dasar muncul. Terdapat 2 komponen penting dalam FTA yakni sebagai berikut (Andrew, 2012).

- 1) Variabel *Boolean*

Variabel kejadian yang besar dapat didefinisikan sebagai *basic event*. Ketika *basic event* memang terjadi maka dianggap benar namun sebaliknya, apabila *basic event* tidak terjadi maka dianggap salah. Untuk setiap

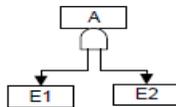
persamaan dapat disederhanakan dengan berdasarkan pada *Booleean Algebrata*.

2) Sistem *Boolean*

Pada metode FTA terdiri dari beberapa simbol event dan simbol gates. Adapun simbol FTA dapat dilihat pada Tabel 2.8 dan Tabel 2.9

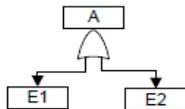
Tabel 2.7 Simbol *Logic Gates* Pada FTA

Nama Simbol	Tipe Simbol	Keterangan
-------------	-------------	------------



Menunjukkan *output* dari event A terjadi jika beberapa input E_i terjadi. Inisial simbol dalam variabel boolean adalah AND (Taheriyoun *et al.*, 2015)

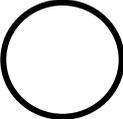
Logic Gates



Menunjukkan *output* dari event A terjadi jika Semua input E_i terjadi secara bersamaan. Inisial simbol dalam variabel boolean adalah OR (Taheriyoun *et al.*, 2015)

Sumber : Setyadi, 2013

Tabel 2.8 Simbol *Input Events* Pada FTA

Nama	Tipe Simbol	Keterangan
Rectangle		Berisikan penjelasan suatu kejadian risiko pada pohon kesalahan. Digunakan untuk mendeskripsikan <i>top event</i> yang tidak diinginkan dan juga kejadian yang menyebabkan kesalahan
Circle		Menunjukkan <i>basic event</i> yang merupakan komponen kegagalan yang paling dasar suatu kesalahan
Transfer		Menunjukkan bahwa komponen kejadian dipindahkan pada diagram terpisah

Sumber : Fault Tree Handbook, 1981

2.6. **Failure Mode Effect Analysis (FMEA)**

Menurut *Ford Company* (2011) suatu FMEA dapat digambarkan sebagai suatu kelompok kegiatan tersistem yang dimaksudkan untuk :

- 1) Mengetahui dan mengevaluasi potensi kegagalan suatu produk/ proses dan efeknya.
- 2) Mengidentifikasi tindakan yang dapat menghilangkan atau mengurangi kemungkinan potensi kegagalan yang terjadi.
- 3) Mendokumentasikan prosesnya.

Sedangkan menurut Carlson, (2012) FMEA adalah metode yang didesain untuk :

- 1) Identifikasi dan mengetahui secara keseluruhan potensial mode kegagalan dan penyebab, serta dampak dari kegagalan pada sistem atau pengguna terakhir, untuk sebuah produk atau proses tertentu.
- 2) Menilai risiko terkait dengan mode kegagalan yang teridentifikasi, efek dan penyebab, dan memprioritaskan masalah untuk tindakan perbaikan.
- 3) Identifikasi dan membawa tindakan korektif untuk menangani masalah paling serius.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa FMEA adalah sebuah panduan untuk pengembangan satu set lengkap tindakan yang akan mengurangi risiko terkait dengan sistem, subsistem, dan komponen atau proses manufaktur/ perakitan ke tingkat yang dapat diterima. Tujuan primer dari melakukan FMEA adalah:

- 1) Mengidentifikasi dan mencegah bahaya keamanan
- 2) Meminimalkan hilangnya kinerja atau degradasi kinerja produk
- 3) Meningkatkan rencana pengujian dan verifikasi (dalam hal sistem atau desain FMEAs)
- 4) Meningkatkan rencana pengendalian proses (dalam kasus FMEA proses)
- 5) Mempertimbangkan perubahan pada desain produk atau proses manufaktur
- 6) Mengidentifikasi karakteristik produk atau proses yang signifikan
- 7) Mengembangkan rencana pemeliharaan preventif untuk mesin dalam layanan peralatan
- 8) Mengembangkan teknik diagnostik online

FMEA dibagi menjadi 3 tipe yang umum, diantaranya adalah:

- FMEA Sistem

Analisis pada tingkat tertinggi analisis dari keseluruhan sistem, terdiri dari berbagai subsistem. Fokusnya adalah pada kekurangan yang terkait sistem, termasuk :

- 1) Keamanan sistem dan integrasi sistem
- 2) Antarmuka antar subsistem atau dengan sistem lain

- 3) Interaksi antara subsistem atau dengan lingkungan hidup sekitarnya
- 4) Kegagalan satu titik (dimana kegagalan komponen tunggal dapat mengakibatkan kegagalan total seluruh sistem)

- FMEA Desain

Analisis pada tingkat subsistem (terdiri dari berbagai komponen) atau tingkat komponen. Fokusnya adalah pada kekurangan terkait desain produk dengan menekankan pada :

- 1) Meningkatkan desain
- 2) Memastikan operasi produk aman dan dapat diandalkan selama masa manfaat peralatan
- 3) Antarmuka antar komponen yang berdekatan

- FMEA Proses

Analisis pada proses manufaktur/ tingkat perakitan. Fokusnya adalah pada kekurangan terkait manufaktur, dengan penekanan pada :

- 1) Memperbaiki proses manufaktur
- 2) Memastikan produk dibangun untuk merancang persyaratan dalam cara aman, dengan downtime minimal, pembatalan, dan pengerjaan ulang
- 3) Operasi manufaktur dan perakitan, pengiriman, bagian yang masuk, pengangkutan bahan, penyimpanan, konveyor, pemeliharaan alat, dan pelabelan.

Terdapat 10 tahapan dalam implementasi FMEA yaitu sebagai berikut (McDermott, et al., 2009).

2.6.1. Mereview Proses Produksi

Tim melakukan *review* terkait *blueprint (or engineering drawing)* dari produk atau *flowchart* secara rinci operasi dari proses yang akan dianalisis menggunakan FMEA. Hal ini penting untuk memastikan setiap orang memiliki pemahaman yang sama terkait produk ataupun proses yang sedang dikerjakan.

Apabila *blueprint* atau *flowchart* tidak tersedia, maka tim harus membuat terlebih dahulu sebelum mulai melakukan proses FMEA. Melalui *blueprint* atau *flowchart* yang ada, tim harus terbiasa menggunakannya untuk memahami produk dan proses yang akan dianalisis. Tim harus secara fisik mengetahui produk atau *prototype* ataupun aliran proses yang ada, serta dapat

menggunakan seorang ahli terkait proses dan produk untuk menjawab pertanyaan yang mungkin ada dari tim.

2.6.2. Penentuan Potential Failure Modes

Tahap setelah memiliki pemahaman yang sama terkait produk dan proses, tim dapat mulai melakukan brainstorming terkait modus kegagalan potensial yang dapat mempengaruhi proses manufaktur dan kualitas dari produk, sehingga dibutuhkan ide-ide dari anggota tim. Anggota tim melakukan serangkaian sesi brainstorming yang berfokus pada elemen-elemen yang berbeda (seperti people, methods, equipments, materials, dan environment) dari produk atau proses agar dapat menghasilkan mode kegagalan potensial secara menyeluruh.

Dari hasil brainstorming, anggota tim melakukan pengelompokan sesuai dengan kategori yang disepakati oleh tim. Misalnya dengan menggunakan jenis kegagalan (seperti electrical, mechanical, user created) yang mempermudah tim selama proses FMEA, serta memberikan pertimbangan kepada tim apakah beberapa mode kegagalan harus dikombinasikan, karena sama, atau sangat mirip satu sama lain.

Dari hasil pengelompokan, tim melakukan pemindahan pada lembar FMEA yang menunjukkan bagaimana setiap komponen (bagian dari proses atau produk) dan fungsi, serta dapat melihat mode kegagalan potensial terkait setiap item. Setiap komponen bisa memiliki beberapa mode kegagalan. Berikut merupakan contoh lembar FMEA (McDermott, et al., 2009) yang dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Failure Mode Effect Analysis							
Proses atau Produk		Pemadam Api Model X-1050					
Tim FMEA		Kevin M, Shane T, KC McG, Chase L, Tyler J					
Pimpinan Tim		Kevin M					
FMEA Proses							
Baris	Komponen dan Fungsi	Modus Potensi Kegagalan	Efek Potensi Kegagalan	Severity	Penyebab Potensi Kegagalan	Occurance	Kontrol dan Pencegahan
1	Selang, agen pemberi pemadam	Rusak					
2		Buntu					
3		Bocor					
4	Kaleng, Wadah untuk agen pemadam	Rusak					
5		Cat terkelupas					
6	Mekanism Katup	Pin safety hilang					

Gambar 2.3 Worksheet Umum FMEA

Sumber: McDermott, et al., 2009

Tabel 2.9 Skala Kuantifikasi dari S,O,D

<i>Effect of Severity</i>	<i>Likelihood of Occurance</i>	<i>Likelihood of Detection</i>	<i>Rank</i>
No. Effect	<i>Very Low</i>	<i>Almost Certain</i>	1
Annoyance	<i>Low</i>	<i>Very High</i>	2
		<i>High</i>	3
	<i>Moderate</i>	<i>Moderately High</i>	4
Loss of Degradation of Secondary Function		<i>Moderate</i>	5
		<i>Low</i>	6
Loss of Degradation	<i>High</i>	<i>Very Low</i>	7
		<i>Remote</i>	8

<i>Effect of Severity</i>	<i>Likelihood of Occurance</i>	<i>Likelihood of Detection</i>	<i>Rank</i>
<i>of Primary Function</i>			
<i>Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements</i>		<i>Very Remote</i>	9
	<i>Very high</i>	<i>Almost Impossible</i>	10

Sumber: McDermott, et al., 2009

2.6.3. Memperkirakan *Severity Failure Mode*

Pada tahap ini adalah memberikan perkiraan seberapa serius dampak yang akan diberikan apabila kegagalan tersebut terjadi yang dapat menggunakan pengalaman sebelumnya. Selain itu, pada tahap ini harus mempertimbangkan tingkat keparahan berdasarkan pengetahuan dan keahlian dari anggota tim. Berikut Tabel 2.11 Yang berisi contoh indikator *severity* dalam perspektif proses.

Tabel 2.10 Indikator *Severity* dalam Perspektif Proses

<i>Effect of Severity</i>	<i>Criteria</i>	<i>Rank</i>
<i>No. Effect</i>	Kegagalan tidak memberikan dampak	1
	Kegagalan memberikan dampak yang berpengaruh pada minoritas pelanggan (<25)	2
	Kegagalan memberikan dampak yang berpengaruh pada beberapa pelanggan (50%)	3

<i>Effect of Severity</i>	<i>Criteria</i>	<i>Rank</i>
	Kegagalan memberikan dampak yang berpengaruh pada kebanyakan pelanggan (>75)	4
<i>Loss of Degradation of Secondary Function</i>	Kegagalan memberikan dampak pada penurunan fungsi sampingan pada system	5
	Kegagalan memberikan dampak pada hilangnya fungsi sampingan sistem	6
<i>Loss of Degradation of Secondary Function</i>	Kegagalan memberikan dampak pada penurunan fungsi utama system	7
	Kegagalan memberikan dampak pada hilangnya fungsi utama system	8
<i>Failure to Meet Safety and/or Regulatory Requirements</i>	Kegagalan dapat membahayakan operator dan sistem, terdapat peringatan terlebih dahulu	9
	Kegagalan dapat membahayakan operator dan sistem, tanpa ada peringatan	10

Sumber: McDermott, et al., 2009

2.6.4. Memperkirakan Occurance Failure Mode

Pada tahap ini, metode yang dapat dilakukan untuk menentukan tingkat probabilitas atau *occurrence* adalah dengan menggunakan data aktual berdasarkan *form* dari *failure logs* atau

dari *process capability data*. Apabila data aktual tidak tersedia, maka tim harus melakukan estimasi seberapa sering mode kegagalan yang mungkin terjadi. Berikut adalah Tabel 2.12 yang berisi contoh indikator *occurrence* perspektif proses.

Tabel 2.11 Indikator *Occurance* dalam Perspektif Proses

<i>Effect of Severity</i>	<i>Criteria</i>	<i>Rank</i>
<i>Very Low</i>	Kegagalan dapat dieliminasi melalui langkah preventif	1
<i>Low</i>	$\leq 0,001$ per 1000 atau 1 dari 100.000	2
	0,01 per 1000 atau 1 dari 100.000	3
<i>Moderate</i>	0,01 per 1000 atau 1 dari 10.000	4
	0,5 per 1000 atau 1 dari 2000	5
	2 per 1000 atau 1 dari 500	6
	10 per 1000 atau 1 dari 100	7
<i>High</i>	20 per 1000 atau 1 dari 50	8
	50 per 1000 atau 1 dari 20	9
<i>Very High</i>	≥ 100 per 1000 atau ≥ 1 dari 10	10

Sumber: McDermott *et al.*, 2009

2.6.5. Memperkirakan *Detection Failure Mode*

Detection ranking menunjukkan seberapa jauh tim mampu mendeteksi kegagalan atau dampak dari kegagalan tersebut. Pada tahap ini, melalui identifikasi *current controls* yang mungkin mendeteksi kegagalan atau dampak dari kegagalan. Apabila

current controls tidak tersedia, maka *likelihood* dari *detection* akan sangat rendah, dan item akan memperoleh *high ranking*. Berikut Tabel 2.13 yang berisikan contoh indikator *detection* dalam perspektif proses.

Tabel 2.12 Indikator *Detection* dalam Perspektif Proses

<i>Likelihood of Detection</i>	<i>Criteria</i>	<i>Rank</i>
<i>Almost Certain</i>	Sistem pengecekan pasti mendeteksi kegagalan	1
<i>Very High</i>	Sistem pengecekan hampir pasti mendeteksi kegagalan	2
<i>High</i>	Sistem pengecekan bisa mendeteksi kegagalan	3
<i>Moderately High</i>	Sistem pengecekan memiliki peluang sangat besar bisa mendeteksi kegagalan	4
<i>Moderate</i>	Sistem pengecekan memiliki peluang besar bisa mendeteksi kegagalan	5
<i>Low</i>	Sistem pengecekan memiliki kemungkinan dapat mendeteksi kegagalan	6
<i>Very Low</i>	Sistem pengecekan memiliki peluang kecil dapat mendeteksi kegagalan	7
<i>Remote</i>	Sistem pengecekan memiliki peluang sangat kecil dapat mendeteksi kegagalan	8

Likelihood of Detection	Criteria	Rank
Very Remote	Sistem pengecekan tidak mampu mendeteksi kegagalan	9
Almost Impossible	Sistem pengecekan tidak memiliki kemungkinan mendeteksi adanya kegagalan	10

Sumber: McDermott *et al.*, 2009

2.6.6. Menghitung *Risk Priority Number*

Tahap selanjutnya setelah menentukan *ranking* dari *severity*, *occurrence*, dan *detection* untuk setiap item, maka dapat melakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN).

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \dots (2.5)$$

Keterangan :

RPN = *Risk Priority Number* (Nilai prioritas dari risiko)

Severity = Tingkat dampak suatu risiko

Occurrence = Tingkat frekuensi atau kemunculan suatu risiko

Detection = Tingkat kemampuan mendeteksi suatu risiko

RPN ini digunakan untuk perangkingan risiko yang perlu ditangani. Umumnya dalam manajemen risiko penilaian seperti diatas dilakukan saat tahap analisis dan proses perangkingan dilakukan disaat evaluasi.

2.6.7. Memprioritaskan *Failure Mode*

Pada tahap ini, mode kegagalan diprioritaskan berdasarkan *ranking*, dari RPN tertinggi sampai terendah. Dalam hal ini, 80% dari total RPN dalam FMEA yang akan dibahas lebih mendalam untuk mendapatkan usulan perbaikan atau penanganan (Rachman *dkk.*, 2016).

2.6.8. Mengambil Tindakan

Dengan menggunakan proses pemecahan masalah secara terorganisir, mengidentifikasi, serta menerapkan tindakan-tindakan untuk menghilangkan atau mengurangi mode kegagalan yang memiliki *high risk*.

Metode yang paling mudah digunakan untuk melakukan perbaikan pada proses atau produk adalah melalui pendekatan dengan meningkatkan *detectability* sehingga menurunkan tingkat *detection*. Namun pendekatan tersebut *costly* dan tidak selalu meningkatkan kualitas produk. Meningkatkan *detectability* kegagalan akan membuat lebih mudah untuk mendeteksi kegagalan setelah kegagalan tersebut terjadi.

Pada situasi yang dapat menyebabkan cedera, perlu untuk melakukan pengurangan pada *severity*. Peluang untuk melakukan perbaikan adalah pada pengurangan kemungkinan terjadi (*likelihood of occurrence*).

2.6.9. Menghitung RPN Setelah Adanya Tindakan

Pada tahap ini, tim melakukan pemberian *ranking* baru pada *severity*, *occurrence*, dan *detection* serta melakukan perhitungan RPN yang dihasilkan. Untuk mode kegagalan yang telah diberikan tindakan harus memiliki penurunan nilai RPN yang signifikan. Jika tidak, berarti hal tersebut tidak mengurangi *severity*, *occurrence*, dan *detectability*. Hasil dari RPN yang baru kemudian dituangkan pada *pareto diagram* dan dibandingkan dengan RPN awal.

2.7. Penelitian Terdahulu

Telah dilakukan penelitian terdahulu sebagai upaya perbandingan dalam proses pengerjaan tugas akhir. Dengan adanya penelitian terdahulu diharapkan penelitian ini dapat menemukan temuan baru dan juga dapat dijadikan sebagai acuan agar penelitian ini berdasarkan pada fakta yang pernah diteliti sebelumnya. Penelitian terdahulu diambil dari berbagai macam sumber yakni jurnal ilmiah, tugas akhir, thesis baik dari departemen internal maupun eksternal. Berikut adalah Tabel 2.14 yang berisi daftar penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya.

Tabel 2.13 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Judul Penelitian	Kesimpulan Penelitian	Sumber
1	Analisis Risiko pada Instalasi Pengolah Air Limbah PT. Ajinomoto berdasarkan Konsep Manajemen Risiko Lingkungan	Hasil identifikasi menggunakan metode FMEA didapatkan 6 risiko dan disederhanakan menjadi 4 risiko utama yaitu limbah cair tumpah, penurunan kualitas efluen, bakteri WWTP mati, dan pencemaran lingkungan. Optimasi yang dilakukan dengan inspeksi pada diffuser dan blower, memonitor proses pengolahan biologis dan tangki aerasi, memonitor jumlah lumpur unit <i>dewatering</i> dan melakukan pembiakan bakteri dalam inkubator.	Simamora, 2010
2	Analisis Risiko dan Optimasi Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolah Air Ngagel 1	Penyebab utama buruknya kualitas air bersih IPA Ngagel 1 disebabkan oleh penurunan kinerja unit filter. Optimasi yang dilakukan yaitu dengan memperbaiki penetapan dosis	Apsari, 2013

No .	Judul Penelitian	Kesimpulan Penelitian	Sumber
		koagulan yang optimum agar mencapai efisiensi kinerja filter	
3	Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja IPAL Rumah Sakit Menggunakan Metode <i>Tree Fault Analysis</i>	Penyebab utama IPAL RS tidak bekerja secara optimal adalah karena unit pengolahan biologis yakni <i>Activated Sludge</i> . Optimasi dilakukan dengan cara menambahkan operator, mengendalikan proses resirkulasi lumpur aktif.	Suparmadja, 2014
4	Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja Unit <i>Activated Sludge</i> pada Instalasi Pengolah Air Limbah Rumah Sakit X Menggunakan Metode <i>Fault</i>	Hasil analisis risiko, didapatkan besaran risiko tertinggi terletak pada kedalaman diffuser. Tindakan optimasi yang dilakukan adalah dengan mengubah kedalaman diffuser yang semula 1 m dari	Nidah, 2015

No	Judul Penelitian	Kesimpulan Penelitian	Sumber
.	<i>Tree Analysis</i> (FTA)	dasar bak menjadi 20-30 cm dari dasar bak.	

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Umum

Metode penelitian ini disusun sebagai acuan dalam melakukan penelitian untuk manajemen risiko pada IPAL industri PT. X. Tahapan dalam manajemen risiko dimulai dari mengidentifikasi risiko, menganalisis risiko, mengevaluasi risiko dan yang terakhir didapatkan sebuah tindakan mitigasi untuk mengatasi risiko tersebut.

Studi yang dilakukan meliputi studi kepustakaan dari berbagai literatur, jurnal, dan artikel dengan kerangka studi meliputi ide studi, perumusan masalah, studi literatur, pengumpulan data primer dan skunder, identifikasi risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, dan manajemen atau mitigasi risiko.

3.2. Kerangka Penelitian

Penelitian ini secara umum adalah menganalisis risiko yang mungkin terjadi pada IPAL PT X dengan konsep yang digunakan adalah Manajemen Risiko. Tahapan penelitian secara menyeluruh diilustrasikan oleh diagram alir penelitian pada Gambar 3.1. Secara garis besar, penelitian akan dilakukan dalam tahapan sebagai berikut :

a. Tahap pengkajian awal

Tahap ini dilakukan studi literatur berkaitan dengan teori pengolahan air limbah, konsep manajemen risiko dengan tahapan identifikasi risiko dengan FTA, analisis risiko dengan FMEA, serta tindakan mitigasinya.

b. Tahap pengumpulan data

Tahap ini merupakan implementasi dari tahapan sebelumnya. Data yang dikumpulkan meliputi data primer berupa debit, kualitas influen dan efluen air limbah IPAL PT. X, wawancara narasumber terkait kondisi eksisting dan permasalahan yang pernah terjadi dalam operasional IPAL dan data sekunder berupa sistem proses pengolahan air limbah PT X.

c. Tahap Identifikasi Risiko

Dalam tahap ini ditentukan potensi risiko penyebab kegagalan yang kemungkinan terjadi. Metode yang digunakan adalah FTA.

d. Tahap penilaian risiko

Risiko yang telah teridentifikasi kemudian dinilai menggunakan metode FMEA untuk mendapatkan nilai *severity*, *occurance*, *detection* dan dihitung nilai RPN nya. Kemudian dari nilai RPN tersebut disusun kembali daftar ranking risiko untuk tahap selanjutnya.

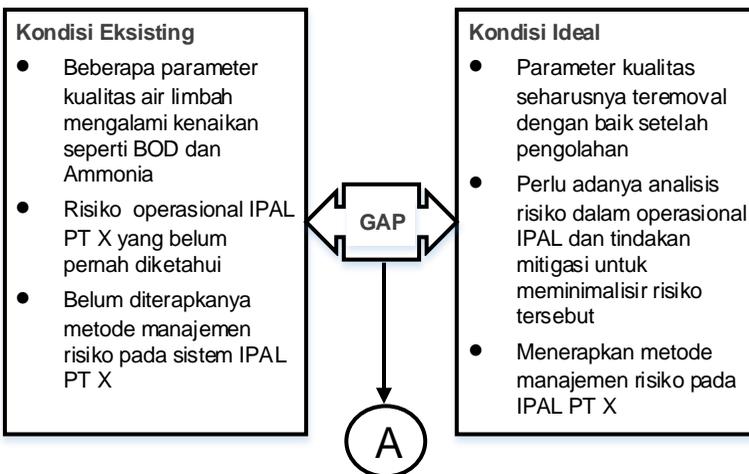
e. Tahap evaluasi risiko

Dalam tahap ini dilakukan perangkingan risiko berdasarkan nilai RPN nya. Kemudian dari nilai *severity* dan *occurance* dapat ditentukan kategori dari masing-masing risiko.

f. Tahap mitigasi risiko

Setelah diketahui ranking dan kategori dari masing-masing risiko, kemudian dilakukan penentuan tindakan mitigasi untuk mengatasi risiko tersebut. Sehingga operasional IPAL dapat berjalan dengan baik dan benar.

Gambar 3.1 adalah diagram alir penelitian yang akan dijadikan pedoman untuk menyelesaikan penelitian ini.



A

Ide Studi

Analisis Risiko pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PT. X dengan Konsep Manajemen Risiko

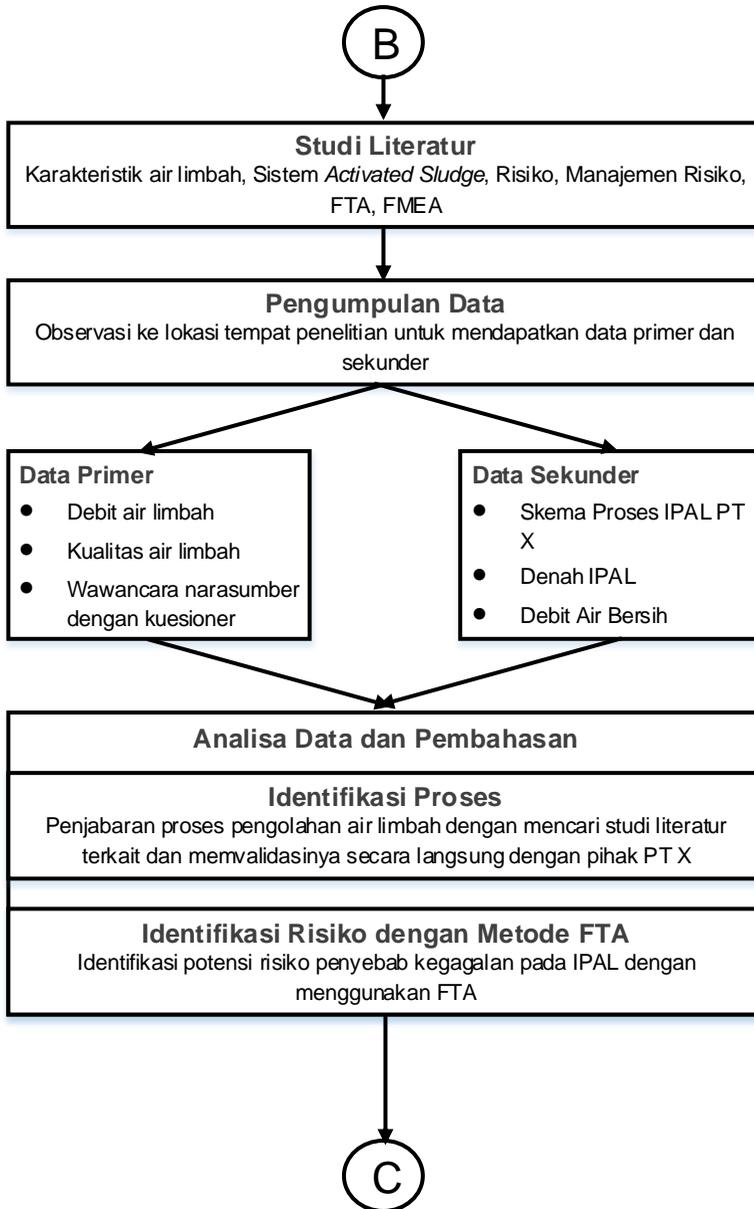
Rumusan Masalah

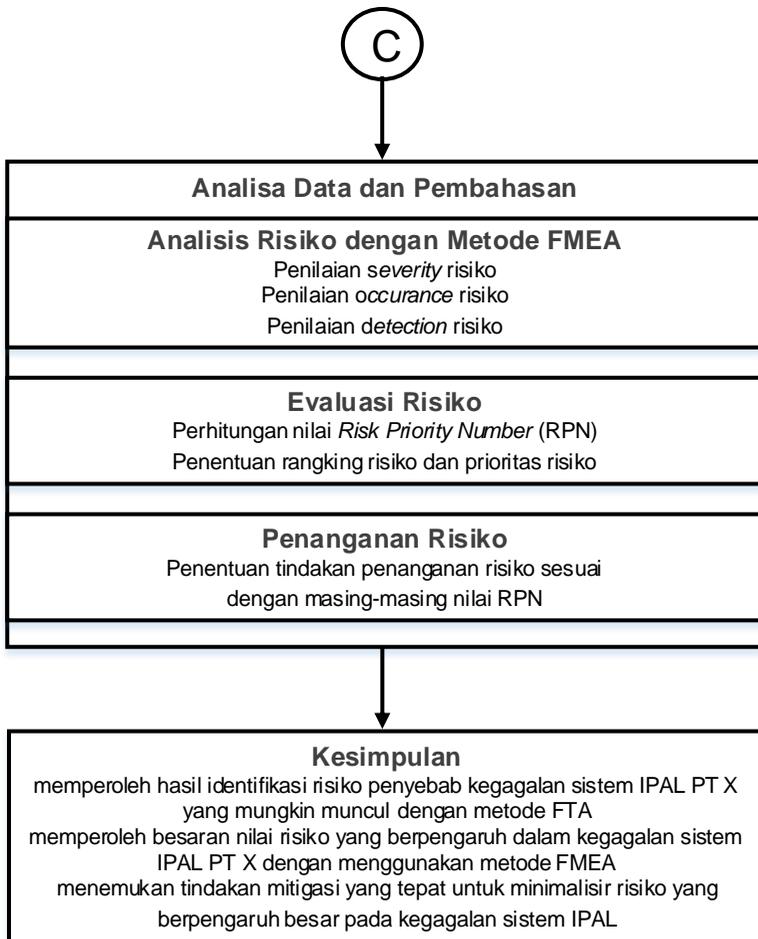
- Bagaimana hasil identifikasi potensi risiko penyebab kegagalan yang mungkin terjadi di dalam pengoperasian IPAL PT X dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA)?
- Bagaimana hasil analisis penilaian risiko yang berpengaruh dalam kegagalan sistem IPAL PT X dengan menggunakan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)?
- Apa tindakan mitigasi untuk meminimalisir risiko yang paling berpengaruh pada kegagalan sistem IPAL PT X?

Tujuan Penelitian

- Mengidentifikasi potensi risiko penyebab kegagalan yang mungkin terjadi pada IPAL PT X berdasarkan metode *Fault Tree Analysis* (FTA)
- Menganalisis risiko yang telah teridentifikasi untuk mendapatkan besaran nilai risiko yang berpengaruh dalam kegagalan sistem IPAL PT X berdasarkan metode *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)
- Menganalisis tindakan mitigasi untuk meminimalisir risiko yang mempunyai pengaruh paling tinggi dalam kegagalan sistem IPAL PT X.

B





Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

3.3. Ide Studi

Ide penelitian ini diperoleh dari gap antara kondisi ideal dengan kondisi eksisting. Kondisi eksisting yang melatarbelakangi penelitian ini adalah terdapatnya parameter kualitas air limbah PT X seperti BOD dan Amonia yang tidak terolah dengan baik sehingga mengalami kenaikan di tiap unit prosesnya. kondisi ideal

yang harusnya dicapai adalah reduksi polutan dalam air limbah tercapai dengan baik. Kondisi eksisting lainnya adalah belum pernah dilakukan analisis risiko pada IPAL dengan konsep manajemen risiko. Kondisi idealnya adalah menerapkan manajemen risiko pada operasional IPAL guna mengurangi risiko penyebab kegagalan sistem pengolahan air limbah.

3.4. Studi Literatur

Studi literatur digunakan sebagai acuan dasar dalam melakukan penelitian. Mulai dari tahap pengumpulan data, analisis data dan pembahasan serta kesimpulan. Adapun studi literatur yang digunakan diambil dari jurnal ilmiah, buku, jurnal prosiding, artikel ilmiah dalam internet, tugas akhir dan tesis. Literatur yang digunakan berhubungan dengan karakteristik air limbah, Sistem *Activated Sludge*, Risiko, Manajemen Risiko, FTA, FMEA.

3.5. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang dipilih adalah PT X. yang terletak di daerah Kota Gresik tepatnya di Kawasan Industri Gresik (KIG). Lokasi ini dipilih dikarenakan adanya parameter polutan air limbah yang mengalami kenaikan dari tiap unit pengolahannya, dan belum adanya implementasi manajemen risiko terhadap operasional IPAL. Diharapkan dengan adanya implementasi ini maka kegagalan atau permasalahan yang terjadi dapat dianalisis penyebabnya dan dapat diketahui penanganan risikonya.

Adapun unit proses pengolahan air limbah yang dipakai oleh PT X meliputi, bak equalisasi, bak aerasi ke-1, bak aerasi ke-2, bak aerasi ke-3, bak aerasi ke-4, bak aerasi ke-5, dan bak sedimentasi.

3.6. Pengumpulan Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan oleh sang peneliti sendiri baik dari hasil survei, observasi, eksperimen, dan wawancara (Ajayi, 2017). Pengumpulan data primer dalam penelitian ini meliputi:

3.6.1. Data parameter kualitas air limbah

Data parameter kualitas air limbah seperti pH, COD, BOD, TSS, serta $\text{NH}_3\text{-N}$. Parameter tersebut dipilih dengan pertimbangan sebagai berikut:

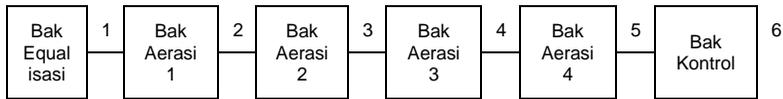
Menurut Alam (2015), pH merupakan parameter kualitas air limbah yang dapat mengubah reaksi kimia didalam air limbah itu sendiri. Apabila pH meningkat maka akan membentuk *ammonia nitrogen* yang sangat toksik bagi ekosistem perairan. Sebaliknya, ketika pH menurun maka logam yang semula berupa endapan menjadi larut dalam air limbah.

BOD dan COD merupakan parameter terpenting dalam air limbah dikarenakan keberadaanya adalah sebagai polutan yang dapat mencemari lingkungan. Memonitoring kandungan BOD dan COD sangatlah penting demi menjaga lingkungan dari pencemaran.

Ammonia Nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$) adalah salah satu parameter yang terpenting dan harus selalu dipantau, dikarenakan sangat toksik bagi ekosistem perairan. Umumnya *ammonia nitrogen* berada pada permukaan suatu perairan.

Total Suspended Solid (TSS) menjadi pertimbangan parameter yang diuji dikarenakan TSS terdiri dari material organik maupun inorganik. TSS dapat mempengaruhi pengolahan biologis, semakin tinggi kadar TSS maka semakin tinggi beban pengolahan. Sehingga, pengolahan biologis membutuhkan energi yang lebih banyak dan menjadi tidak efisien.

Pengumpulan data parameter kualitas air limbah diperoleh dari analisis laboratorium. Analisis ini dilakukan dengan mengambil sampel pada dua titik yaitu influen dan efluen tiap unit IPAL PT X. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mendapatkan data karakteristik air limbah PT X serta mengetahui efisiensi proses pengolahan IPAL sebagai data pendukung untuk identifikasi risiko penyebab kegagalan dalam IPAL. Terdapat 6 sampel yang akan diambil untuk dianalisis, dengan rincian yang dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Titik Pengambilan Sampel Air Limbah

Dari Gambar 3.2 di atas menunjukkan terdapat 6 titik pengambilan sampel tiap harinya. 6 titik ini berada pada:

Titik 1: Outlet Bak Ekualisasi

Pertimbangan dalam pengambilan setelah bak ekualisasi adalah dimana untuk mengetahui kadar/konsentrasi limbah rata-rata baik beban hidrolis maupun beban organiknya. Sehingga data yang dihasilkan tidak fluktuatif

Titik 2: Outlet Bak Aerasi 1

Pertimbangan dari pengambilan di titik ini adalah dikarenakan untuk mengetahui efisiensi kinerja dari bak aerasi 1 dalam mengolah limbah dan untuk mengetahui F/m rasio dan beban BODnya.

Titik 3: Outlet Bak Aerasi 2

Sama dengan halnya pengambilan titik sebelumnya, pertimbangan dalam pengambilan di titik ini adalah dikarenakan untuk mengetahui efisiensi kinerja dari bak aerasi 2 sekaligus untuk mengetahui F/M rasio dan BODnya.

Titik 4: Outlet Bak Aerasi 3

Pertimbangan pengambilan titik ini adalah untuk mengetahui kinerja dan efisiensi penyisihan di bak aerasi 3 sekaligus untuk mengetahui nilai SVI.

Titik 5: Outlet Bak Aerasi 4

Pertimbangan pengambilan titik ini adalah untuk mengetahui kinerja dan efisiensi penyisihan di bak aerasi 4 dan untuk mengetahui kualitas pengolahan apakah sudah optimal atau mengalami kegagalan.

Titik 6: Outlet Bak Kontrol

Untuk mengetahui kualitas effluen IPAL yang dibuang ke drainase kawasan (air permukaan) sudah memenuhi baku mutu Pergub Jawa Timur No.72 tahun 2013

Sampling air limbah dilakukan sesuai dengan SNI 6989.59: 2008 dengan memperhatikan pola pembuangan air limbah secara kontinyu atau *batch*, dan diperhatikan pula ada tidaknya bak ekualisasi dalam sistem pengolahan air limbah PT X. Hal ini dilakukan dengan tujuan data yang didapatkan representatif, dimana kualitas air limbah yang diambil mewakili kualitas limbah secara keseluruhan. Dalam penelitian ini dilakukan pengambilan sampel secara *grab sampling* pada saluran pembuangan limbah PT X atau bak penampung (ekualisasi).

Sampel air limbah yang telah didapatkan kemudian dilakukan analisis parameter kualitasnya di Laboratorium Teknologi Pemulihan Air Departemen Teknik Lingkungan ITS. Analisis parameter ini dilakukan dengan acuan Standar Nasional Indonesia (SNI), berikut adalah prinsip uji kualitas tiap parameter:

Uji BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Uji BOD dilakukan dengan menggunakan prinsip winkler yaitu reaksi oksidasi zat organik dengan oksigen yang terkandung dalam air oleh mikroorganisme. Tujuannya adalah untuk mengetahui tingkat biodegradasi limbah cair. Pengujian parameter BOD dilakukan sesuai acuan SNI 6989.72: 2009

Uji COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Uji COD dilakukan dengan menggunakan prinsip *closed reflux* dengan oksidasi larutan $K_2Cr_2O_7$ dalam kondisi asam. Tujuannya adalah untuk mengetahui penurunan konsentrasi organik. Pengujian parameter COD dilakukan sesuai acuan SNI 6989.2: 2009

Uji pH

Uji pH diukur dengan menggunakan *Electrometric Method* (EC) dengan alat *basic pH meter 03771 denver instrument*. Pengujian pH dilakukan sesuai acuan SNI 6989 11-2004.

Uji TSS

Uji TSS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Analisis gravimetri merupakan teknik analisis kuantitatif yang didasarkan pada pengukuran massa. Hal ini melalui pengendapan, penyaringan, pencucian endapan, pengeringan, dan penimbangan. Tujuannya untuk mengetahui jumlah padatan

tersuspensi yang terlarut dalam air limbah. Pengujian parameter TSS dilakukan sesuai acuan SNI 6989 3-2004.

Uji *Ammonia Nitrogen* (NH₃-N)

Uji *ammonia nitrogen* dilakukan dengan uji ammonium. Metode yang digunakan adalah spektrofotometer secara nessler dalam contoh air dan air limbah pada kisaran panjang gelombang 190-900 nm. Tujuannya adalah untuk menentukan kadar amonia nitrogen sebagai ammonium (mg N/L). Pengujian parameter *ammonia nitrogen* sebagai amonium dilakukan sesuai acuan SNI 06-2479-1991.

3.6.2. Data Wawancara Narasumber

Data wawancara narasumber terkait dengan operasional IPAL. Narasumber terkait dengan IPAL adalah pihak kepala bagian manajer teknik maintenance dan kepala bagian analist laboratorium. Wawancara dilakukan dengan forum diskusi dua arah dan kuesioner yang terdapat dalam lampiran. Tujuan dilakukan pengumpulan data wawancara ini adalah

- a) Untuk mengetahui kondisi eksisting proses pengolahan IPAL
- b) Untuk *brainstorming* permasalahan yang sering terjadi dalam operasional IPAL
- c) Untuk mendapatkan data penunjang penilaian *severity*, *occurance*, dan *detection*
- d) Untuk mendapatkan data analisis beban kerja sumber daya manusia (maintenance dan analist laboratorium)

3.6.3. Data Debit Air Limbah

Data debit air limbah didapatkan melalui hasil pengukuran langsung di lapangan. Dilakukan dengan menampung air limbah.

3.7. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan dari seseorang yang sebelumnya telah melakukan penelitian, pengukuran, atau survei (Ajayi, 2017). Pengumpulan data sekunder dalam penelitian ini meliputi:

3.7.1. Data Skema Proses IPAL

Data ini berupa diagram alir pengolahan. Data ini didapatkan dari pihak industri PT X terkait pengelola IPAL. Data ini dibutuhkan untuk tahap identifikasi proses pengolahan air limbah.

3.7.2. Denah IPAL

Data ini berupa gambar denah IPAL beserta dimensi tiap masing-masing unit proses. Didapatkan dari pihak perusahaan, baik dari UKL-UPL maupun sumber lain.

3.7.3. Debit Penggunaan Air Bersih

Data ini berupa debit pemakaian air bersih dari perusahaan untuk proses produksi. Nantinya data ini digunakan dalam perhitungan debit rata-rata air limbah guna mengevaluasi variabel kontrol IPAL dan *mass balance*.

3.8. Identifikasi Proses

Pada tahap ini dilakukan identifikasi proses operasional IPAL. Proses identifikasi ini dibatasi hanya pada aktivitas operasional IPAL termasuk proses pengolahan, dan sumber daya manusia. Identifikasi proses ini dilakukan dengan wawancara secara langsung dengan narasumber terkait dan memahami data skema proses air limbah yang telah didapatkan.

Pada tahap ini berisi penjabaran dari hasil analisis karakteristik air limbah, skema proses pengolahan, dan efisiensi pengolahan tiap unit. Tujuan dari identifikasi proses IPAL ini adalah sebagai data pendukung dalam tahap identifikasi risiko penyebab kegagalan.

3.9. Identifikasi Risiko

Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi potensi risiko penyebab kegagalan dari operasional IPAL. Identifikasi risiko dilakukan dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Tahap ini dilakukan dengan pengamatan secara langsung proses operasional yang berjalan dan kondisi eksisting disekitar IPAL serta mereview data primer maupun sekunder yang telah

didapatkan. Secara garis besar tahapan identifikasi risiko penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Diagram Alir Identifikasi Risiko

Berikut adalah penjelasan dari setiap tahapan identifikasi risiko:

- 1) Memahami setiap proses dan kondisi eksisting operasional IPAL. Tujuannya untuk mengetahui detail unit operasi yang digunakan, meliputi fungsi tiap unit, cara kerja, aliran air, sampai dengan kriteria perencanaan yang digunakan. Tahapan ini juga dilakukan bersamaan dengan review data primer dan sekunder dengan pihak terkait tujuannya untuk memvalidasi data yang didapatkan dengan pihak terkait.
- 2) Identifikasi potensi risiko penyebab kegagalan dengan metode FTA yakni dilakukan sebuah pengembangan pohon kesalahan untuk menemukan akar penyebab permasalahan utama. Berikut adalah tahapannya:
 - Menentukan kegagalan utama yang ada pada sistem operasional IPAL PT X

- Menentukan faktor risiko utama penyebab kegagalan pada sistem operasional IPAL PT X ditinjau dari aspek yang diteliti yakni aspek teknis dan aspek sumber daya manusia
- Menentukan risiko dasar/ *failure mode* penyebab kegagalan pada sistem operasional IPAL PT X

Identifikasi risiko pada penelitian ini dibatasi dengan 2 aspek yakni:

- Aspek teknis berupa unit proses IPAL
 - Didalam aspek ini akan dikaji lebih lanjut mengenai risiko penyebab kegagalan yang ditimbulkan pada unit proses IPAL nya yakni, Tangki Aerasi, dan Tangki Aerasi 4/SBR.
 - Variabel yang akan diteliti untuk dicari *failure mode* nya adalah Beban BOD, F/M, Rasio, umur lumpur , kebutuhan diffuser, dan Sludge Volume Index.
- Aspek sumber daya manusia pengelola IPAL
 - Didalam aspek ini akan dikaji lebih lanjut mengenai risiko penyebab kegagalan yang ditimbulkan pada SDM pengelola IPAL nya yakni, divisi Operator IPAL
 - Variabel yang akan diteliti untuk dicari *failure mode* nya adalah kuantitas, dan kualitas.

3.10. Penilaian Risiko

Penilaian risiko dilakukan dengan menggunakan metode FMEA. Dari *failure mode* yang didapatkan dari tahapan identifikasi risiko kemudian dilakukan penilaian risiko. Penilaian dalam analisis risiko ini berdasarkan 3 indikator yaitu *severity*, *occurance*, dan *detection*. Secara garis besar langkah-langkah dalam analisis risiko dapat dilihat pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Diagram Alir Penilaian Risiko

Berikut adalah penjelasan tahap-tahapan yang ada dalam gambar 2.

- 1) Penilaian *severity* atau *consequence* dilakukan dengan perhitungan skala kondisi lingkungan dengan skala besar risiko dimana skala ini disusun berdasarkan data primer yang telah didapatkan berupa hasil analisis laboratorium, kuesioner wawancara terhadap narasumber terkait operasional IPAL.
- 2) Penilaian *occurrence* atau *likelihood* dilakukan berdasarkan peluang terjadinya risiko tersebut dengan ketentuan skala probabilitas yang dibuat. Untuk mengetahui peluang terjadinya risiko didapatkan dari hasil pengumpulan data berupa kuesioner, data riwayat kejadian, dan segala informasi yang digunakan dalam proses prakiraan terhadap semua kemungkinan peristiwa yang akan terjadi.
- 3) Penilaian *detection* dilakukan berdasarkan penilaian *occurrence* yang didapatkan dari hasil wawancara dengan lembar kuesioner terhadap pihak yang ditunjuk sebagai narasumber terkait dengan evaluasi pekerja dan unit proses.

3.11. Evaluasi Risiko

Dalam tahap ini dilakukan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN) dengan persamaan 2.2. Setelah menghitung RPN ditentukan pembobotan terhadap faktor risiko utama untuk mengantisipasi apabila terdapat nilai RPN yang sama dari kedua faktor risiko tersebut. kemudian dilakukan penyusunan ranking terhadap risiko dengan ketentuan:

- Risiko yang memiliki nilai RPN paling besar adalah risiko yang menduduki peringkat pertama
- Risiko yang memiliki nilai RPN paling kecil adalah risiko yang menduduki peringkat terakhir

3.12. Penanganan Risiko

Setelah menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai RPN selanjutnya dilakukan pembuatan usulan tindakan penanganan risiko. Penyusunan tindakan penanganan dilakukan dengan

diskusi terhadap pihak yang ahli dalam pengolahan air limbah, pihak operasional IPAL PT X, dan studi literatur yang terkait.

3.13. Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini adalah identifikasi risiko penyebab kegagalan, besaran nilai risiko yang paling berpengaruh dalam kegagalan dan kategori risiko serta tindakan mitigasinya. Saran yang diberikan memiliki tujuan untuk memberikan sinergi terhadap penelitian selanjutnya dengan tujuan perbaikan dan peningkatan kualitas sesuai dengan perkembangan ilmu dan teknologi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Air Limbah

Berikut adalah hasil uji karakteristik air limbah PT X ditinjau dari parameter *Total Suspended Solid* (TSS), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Ammonia-Nitrogen* (NH₃-N) yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Karakteristik awal air limbah PT X

PARAMETER	Satuan	Hasil Trial 1	Hasil Trial 2	Hasil Trial 3	Rata-rata
pH	-	7,2	7,5	7,4	7,4
TSS	mg/L	148	156	270	191
BOD	mg/L	604	378	754	579
COD	mg/L	1008	1560	1680	1416
NH ₃	mg/L	49	48	93	64

*Keterangan:

Trial 1 dilaksanakan pada 11-14 Maret 2019

Trial 2 dilaksanakan pada 18-21 Maret 2019

Trial 3 dilaksanakan pada 25-28 Maret 2019

Dari hasil uji diatas maka dapat disimpulkan bahwa kandungan air limbah PT X memiliki kategori *strong* (kuat) dikarenakan kandungan BOD, COD, dan ammonia-nitrogen yang terkandung dalam air limbah PT X berturut-turut melebihi nilai 350 mg/L, 800 mg/L, dan 45 mg/L (Metcalf dan Eddy, 2003). Dari hasil diatas juga dapat diketahui rasio BOD/COD dari air limbah tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Rasio BOD/COD Air Limbah PT X

Pengambilan Sampel	Rasio	Kategori
Trial 1	0,6	Biodegradable

Pengambilan Sampel	Rasio	Kategori
Trial 2	0,2	Biodegradable
Trial 3	0,4	Biodegradable
Rata-rata	0,4	Biodegradable

Dari Tabel diatas dapat diketahui karakteristik air limbah PT X berdasarkan rasio BOD/COD dimana, air limbah PT X memiliki karakteristik limbah yang biodegradable. menurut Mangkoedihardjo (2010) dalam Tamyiz (2015), karakteristik air limbah yang biodegradable memiliki rasio BOD/COD dalam rentang 0,2 – 0,5. Akan tetapi, limbah tersebut tergolong lama untuk diurai dikarenakan membutuhkan proses aklimatisasi dengan limbah tersebut (Fresenius *et al.*, 1989).

Pengukuran debit dilakukan selama 3 minggu di hari pertama sampling kualitas air limbah dengan dirata-rata berdasarkan data sekunder pencatatan air limbah dari PT X sendiri. Dari hasil perhitungan **Lampiran C** didapatkan debit rata-rata air limbah yakni sebesar 634,8 m³/hari.

4.2. Sistem Pengolahan Air Limbah PT X

Pengolahan air limbah PT X menggunakan sistem *Activated Sludge*, dimana teknologi pengolahan biologis yang digunakan adalah jenis tangki aerasi atau biasa disebut *Aeration Tank*. Unit pengolahan air limbah yang digunakan oleh PT X adalah sebagai berikut:

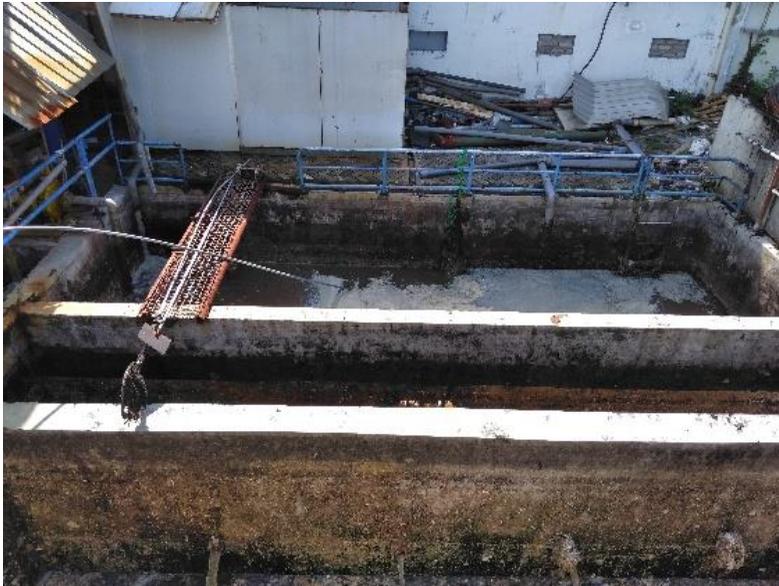
1. Bak Equalisasi
2. Bak Aerasi 1,2,3
3. Bak Aerasi 4/SBR
4. Bak Kontrol

4.2.1. Bak Equalisasi

Air limbah akan mengalir dan masuk pertama kali menuju Bak Equalisasi sebelum memasuki Pengolahan Biologis. Didalam bak ini air limbah yang semula flukktuatif baik debit dan konsentrasi polutanya akan terhomogenkan menjadi lebih rata dan stabil. Dikarenakan outlet dari bak equalisasi ini menggunakan pompa

yang debitnya rata-rata konstan. Mulai dari 500 m³/hari – 700 m³/hari. Waktu tinggal hidrolis dari bak ekualisasi ini adalah 5 jam. Setelah memasuki bak ekualisasi tahap selanjutnya adalah air limbah akan memasuki pengolahan biologis yakni tangki aerasi.

Berikut adalah contoh Gambar 4.1 bak equalisasi yang terdapat pada IPAL PT X.



Gambar 4.1 Bak Equalisasi

4.2.2. Bak Aerasi 1

Didalam tangki aerasi tahap 1 ini berguna untuk menurunkan beban organik yang tinggi dengan bantuan mikroorganismes tersuspensi. Didalam tangki aerasi ini terdapat resirkulasi lumpur dari dari tangki aerasi ke-4 yang berguna untuk menyeimbangkan konsentrasi substrat dengan mikroorganismes pengolah. Adapun waktu tinggal hidrolis dari tangki aeras ke 1 ini adalah selama 15 jam.

Berikut adalah contoh Gambar 4.2 tangki aerasi 1 yang terdapat pada IPAL PT X.



Gambar 4.2 Tangki Aerasi 1

4.2.3. Bak Aerasi 2

Selanjutnya air limbah akan memasuki tangki aerasi tahap ini untuk mendegradasi air limbah yang mana konsentrasi pencemar organiknya masih belum terkonversi menjadi biomassa, dan tujuan dari pengolahan tahap 2 ini adalah untuk mendegradasi ammonia nitrogen menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Didalam tangki ini juga menerima resirkulasi lumpur dari tangki aerasi ke-4. Waktu tinggal dari tangki aerasi ke-2 ini sama dengan yang pertama yakni 15 jam.

Berikut adalah contoh Gambar 4.3 dari tangki aerasi 2 yang terdapat pada IPAL PT X.



Gambar 4.3 Tangki Aerasi 2

4.2.4. Bak Aerasi 3

Didalam tangki aerasi 3 ini air limbah juga akan mengalami proses pengolahan polutan organik menjadi biomassa dan degradasi amonia nitrogen melalui proses nitrifikasi. Didalam tangki aerasi 3 ini air limbah mengalir secara intermitten ke tangki aerasi 4. Dikarenakan dalam tangki aerasi 4 terjad proses secara *batch* dikarenakan adanya proses pengendapan seperti unit SBR. Waktu tinggal hidrolis dari tangki aerasi ke-3 ini adalah selama 23 jam.

Berikut adalah contoh Gambar 4.4 dari tangki aerasi 3 yang terdapat pada IPAL PT X



Gambar 4.4 Tangki Aerasi 3

4.2.5. Bak Aerasi 4/SBR

Didalam tangki ini air limbah diolah secara aerobik akan tetapi pada akhir proses yakni saat air sudah mencapai batas kedalaman tangki, aerasi dimatikan dan proses pengendapan dimulai pada bak ini. Jika berdasarkan diagram alir pada denah IPAL PT X yang dapat dilihat pada lampiran menunjukkan bahwa tangki aerasi 4 ini didesain untuk aerasi pada umumnya (conventional aeration) akan tetapi para operator menggunakannya sekaligus sebagai bak pengendap sehingga tangki aerasi ke-4 ini beralih fungsi menjadi *Sequencing Batch Reactor* (SBR).

Lumpur dari hasil pengendapan di tangki ini kemudian akan di resirkulasi ke tangki aerasi 1 dan tangki aerasi 2, sisa dari lumpur yang tidak diresirkulasi dbuang ke tangki aerasi khusus pembuangan lumpur pengolahan. Yang nantinya lumpur tersebut di alirkan ke IPAL kawasan untuk diolah. Berikut adalah contoh gambar dari tangki aerasi 4 yang terdapat pada IPAL PT X. Waktu tinggal hidrolis dari tangki aerasi ke-4 ini adalah selama 21 jam dengan waktu *react* selama 6 jam dan *settle* selama 2 jam. Berikut adalah tangki aerasi 4 yang dapat dilihat pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Tangki Aerasi 4/SBR

4.2.6. Bak Kontrol

Bak kontrol pada IPAL PT X adalah sebagai bioindikator air limbah yang akan dibuang ke badan air permukaan. didalam bak ini bioindikator yang digunakan adalah ikan hias. Berikut adalah gambar bak kontrol air limbah terolah di IPAL PT X yang dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Bak Kontrol IPAL PT X

4.3. Effisiensi Pengolahan IPAL PT X

Pengolahan air limbah PT X terdiri dari bak aerasi dengan sekat yang membagi bak aerasi menjadi 5 buah dengan dilengkapi bak pengendap setelahnya.

Akan tetapi kondisi eksisting dari operasional IPAL sendiri dari ke 5 bak aerasi tersebut yang aktif digunakan untuk mengolah air limbah hanya sampai pada bak ke-4 dan sedimentasi sudah tidak digunakan sebagai proses pengendapan, hanya digunakan untuk tampungan sementara dari bak aerasi 4 menuju bak kontrol. Untuk pengendapan biomass/lumpur dari bak aerasi dilakukan pada bak aerasi ke 4.

Maka dari itu, hasil sampling air limbah untuk efisiensi hanya dilakukan pada bak aerasi 1-4 dan bak kontrol. Berikut adalah hasil sampling efisiensi kinerja IPAL PT X yang dilakukan selama 3 minggu. Berikut adalah hasil uji efisiensi kinerja IPAL PT X Trial 1 yang dilaksanakan pada tanggal 11 Maret 2019 sampai

dengan 14 Maret 2019 yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Kinerja IPAL Trial 1

PARAMETER	WAKTU PENGAMBILAN OUTLET						% Penyisihan
	EQUALI SASI (mg/L)	AT 1 (mg/L)	AT 2 (mg/L)	AT 3 (mg/L)	AT 4 (mg/L)	BAK KONTROL (mg/L)	
pH	7,2	6,9	6,7	6,7	6,8	6,9	-
TSS	148	1440	1676	1768	26	44	70%
BOD	604	911	627	528	65	84	86%
COD	1008	1632	1368	1152	180	160	84%
NH ₃ -N	49	15	9	9	6	7	86%

*Keterangan:

 Melebihi Batas Baku Mutu

Dari Tabel 5.3 diatas menunjukkan bahwa persentase removal dari IPAL PT X rata-rata masih optimal. Menurut Metcalf dan Eddy (2003), pengolahan dengan tangki aerasi mampu mereduksi kandungan BOD dalam air limbah sebesar 85%-95%, COD 80%-85%, TSS 80%-90%, dan NH₃ sebesar 8%-15% Akan tetapi, effluen dari IPAL PT X untuk parameter TSS, COD, dan NH₃ melebihi batas baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72/2013. Dimana, batas maksimum untuk TSS 30 mg/L, COD 150 mg/L dan NH₃ 5 mg/L. Dengan demikian kegagalan IPAL pada periode pengolahan 11-14 Maret ini adalah tidak dapat mengolah air limbah sampai dengan batas baku mutu yang telah ditentukan. Baik pada parameter amonia nitrogen, COD, dan TSS.

Berikut adalah Tabel 4.4 yang berisi hasil uji efisiensi kinerja IPAL PT X trial ke-2 yang dilakukan pada tanggal 18 Maret 2019 sampai dengan 21 Maret 2019. Dilakukan selama 4 hari dengan menggunakan acuan waktu tinggal hidrolis tiap bak.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Efisiensi Kinerja IPAL Trial 2

PARAMETER	WAKTU PENGAMBILAN OUTLET						% Penyisihan
	EQUALI SASI (mg/L)	AT 1 (mg/L)	AT 2 (mg/L)	AT 3 (mg/L)	AT 4 (mg/L)	BAK KONTROL (mg/L)	
pH	7,5	7,1	6,9	6,9	6,9	7,1	-
TSS	156	1848	1636	1500	43,2	80	49%
BOD	378	534	598	754	35,3	29	92%
COD	1560	1880	1840	2320	209,8	160	90%
NH ₃ -N	48	37	42	26	21	20	58%

*Keterangan:

 Melebihi Batas Baku Mutu

Dari Tabel 5.4 diatas menunjukkan bahwa performa dari IPAL PT X mengalami penurunan, dimana persentase removal TSS yang awalnya mencapai 70% di trial ke-1 di trial ke-2 ini persentase removalnya turun menjadi 49%. Begitu juga dengan persentase removal dari ammonia nitrogen yang turun menjadi 58%. Berbeda dengan persentase removal dari BOD dan COD yang mengalami kenaikan berturut-turut yakni 92% dan 90%. Akan tetapi, parameter TSS, COD, dan NH₃-N tetap melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Dengan demikian kegagalan proses pengolahan IPAL PT X di periode 18-21 Maret 2019 adalah tidak dapat mengolah air limbah hingga memenuhi baku mutu khususnya parameter COD, amonia nitrogen (NH₃-N), dan TSS.

Berikut adalah Tabel 4.5 yang berisi hasil perhitungan efisiensi kinerja IPAL PT X trial ke-3 yang dilakukan pada tanggal 25 Maret 2019 sampai dengan 28 Maret 2019. Dilakukan selama 4 hari dengan menggunakan acuan waktu tinggal hidrolis tiap bak. Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi nyata dari IPAL dalam mengolah air limbah.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Efisiensi Kinerja IPAL Trial 3

PARAMETER	WAKTU PENGAMBILAN OUTLET						% Penyisihan
	EQUALI SASI (mg/L)	AT 1 (mg/L)	AT 2 (mg/L)	AT 3 (mg/L)	AT 4 (mg/L)	BAK KONTROL (mg/L)	
pH	7,4	7,3	7,3	7,1	7,3	7,9	-
TSS	270	1360	1688	1664	24	48	82%
BOD	754	888	1117	940	57	47	94%
COD	1680	2024	2112	1848	288	192	89%
NH ₃ -N	93	55	13	10	6	8	92%

*Keterangan:

 Melebihi Batas Baku Mutu

Dari hasil Tabel 5.5 diatas menunjukkan bahwa persentase removal TSS dan ammonia nitrogen kembali optimal, begitu juga dengan persentase removal BOD. Akan tetapi, kenaikan dari persentase removal dari IPAL PT X ini tidak membawa perubahan pada kualitas effluen air limbah terutama untuk parameter TSS, COD, dan NH₃-N. Dimana nilai konsentrasi dari masing-masing parameter tersebut masih diatas baku mutu yang telah ditetapkan.

Dari hasil uji kinerja/efisiensi pengolahan IPAL PT X, dapat disimpulkan bahwa pengolahan masih belum sempurna dikarenakan adanya parameter kualitas effluen air limbah yang keluar dari baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No, 72/tahun 2013. Dengan demikian kegagalan proses pengolahan IPAL PT X di periode 25-28 Maret 2219 adalah tidak mampu mengolah air limbah hingga dibawah batas baku mutu yang ditentukan.

4.3.1. Diagram Alir Debit IPAL PT X

Debit air limbah pada IPAL PT X mempunyai arah aliran yang dapat dilihat pada gambar 4.7. diagram alir ini didapatkan sesuai dengan pengamatan di lapangan dan wawancara terhadap pihak operator. Untuk perhitungan debit dapat dilihat pada **Lampiran C** (Data Debit Air Limbah).

4.3.2. Mass Balance IPAL PT X

Perhitungan mass balance dapat dilihat pada **Lampiran A** dengan gambar diagram alir prosesnya dapat dilihat pada gambar 4.8. Didalam mass balance ini dibuat berdasarkan kondisi eksisting hasil pengujian kualitas air limbah dan efisiensi kinerja unit pengolahan. Perhitungan mass balance juga digunakan untuk perhitungan variabel kontrol pada **Lampiran B**.

4.4. Identifikasi Risiko IPAL PT X

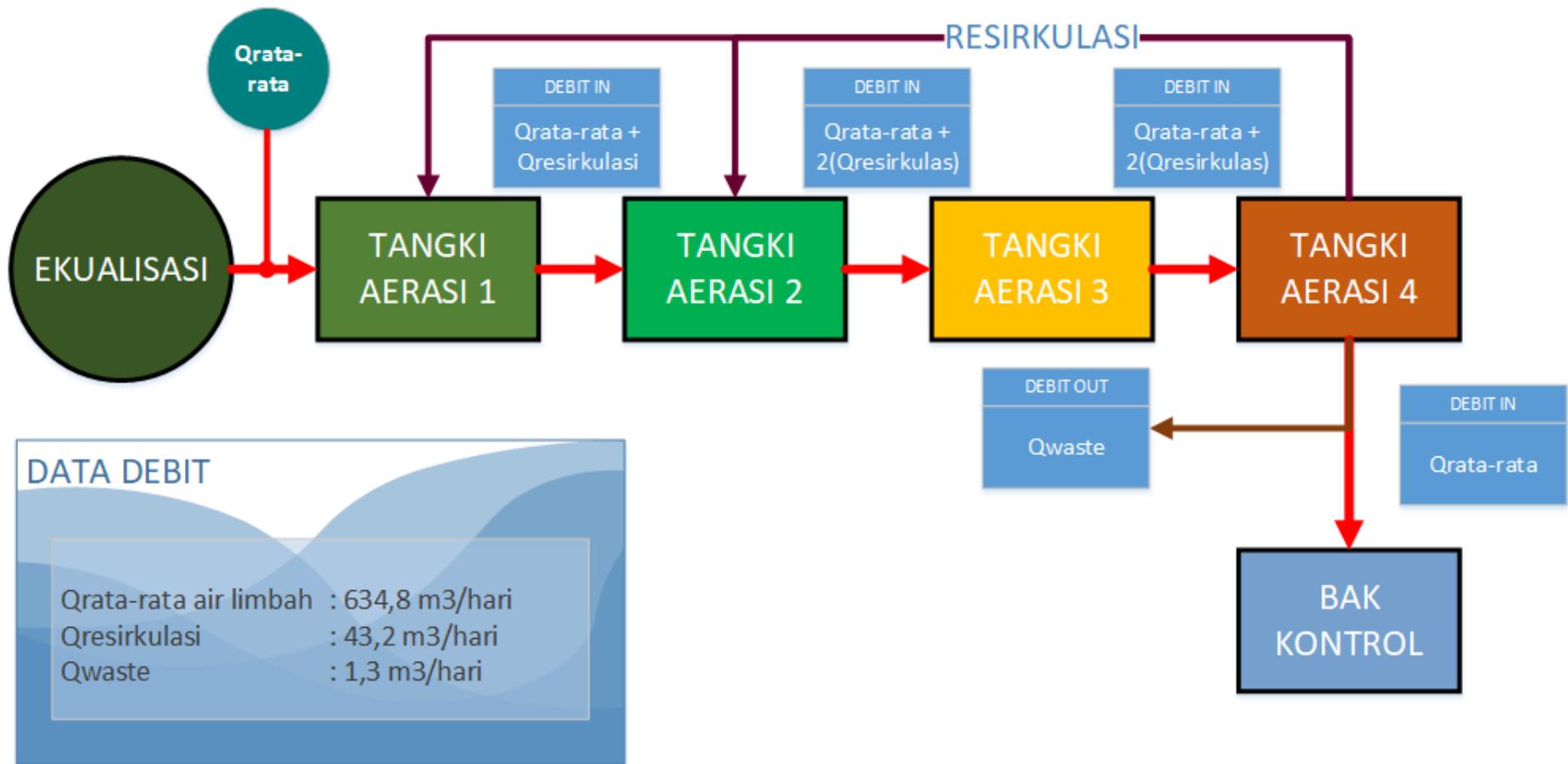
Tujuan dari identifikasi risiko ini adalah untuk mengetahui risiko apa saja yang dapat mempengaruhi suatu kinerja pengolahan IPAL menjadi tidak optimal atau memburuk, sehingga nantinya dapat disusun suatu tindakan penanganan untuk mengoptimalkan atau meminimalisir risiko yang mungkin terjadi.

Berdasarkan hasil analisis data sebelumnya dapat disimpulkan bahwa pengolahan IPAL PT X belum mencapai tujuannya yakni untuk mengolah air limbah agar sesuai dengan baku mutu Pergub Jatim No. 72 Tahun 2013. Dengan demikian untuk menangani kegagalan tersebut tahap pertama yang dilakukan adalah identifikasi faktor risiko utama penyebab kegagalan yang terjadi. Metode yang digunakan untuk memvisualisasikannya adalah dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*.

Metode FTA digunakan untuk mengetahui penyebab dasar dari suatu sistem untuk memperkirakan probabilitas suatu kegagalan dapat terjadi. Metode FTA digambarkan sebagai sebuah *logic diagram* yang merupakan konsep dari penyebab kegagalan dari suatu sistem (Nidah, 2015).

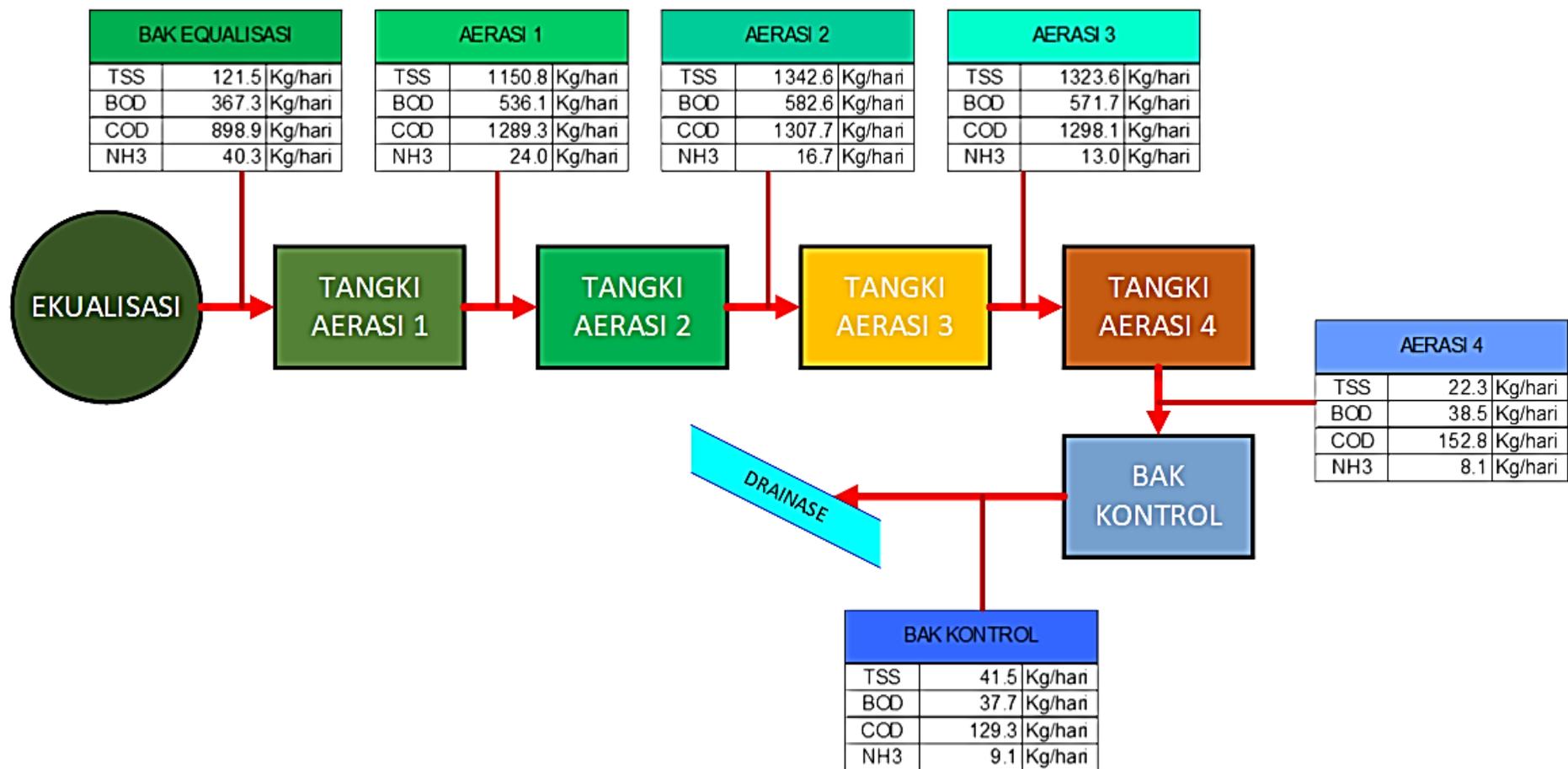
Didalam proses identifikasi risiko terdapat faktor internal berupa aspek teknis dan SDM sedangkan untuk faktor eksternal yang mempengaruhi adalah aspek pemerintahan. Aspek-aspek tersebut yang akan diidentifikasi dalam FTA. Berikut adalah penjelasannya:

Aspek Teknis: Berdasarkan gambar desain IPAL dan diagram proses alirnya yang dapat dilihat pada lampiran, teknologi yang digunakan dalam pengolahan air limbah PT X adalah *Activated Sludge* dimana jenis unit yang dipakai adalah tangki aerasi konvensional dengan jumlah tangki mencapai 5 buah



Gambar 4.7 Diagram Alir Debit Air Limbah IPAL PT X

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4.8 Diagram Mass Balance

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

dilengkapi dengan bak ekualisasi (sebelum tangki aerasi) dan bak sedimentasi (setelah tangki aerasi). Akan tetapi dari hasil pengamatan di lapangan, kondisi eksisting dari operasional tangki aerasi sendiri yang digunakan untuk mengolah air limbah hanya 4 buah dengan mengubah prinsip tangki aerasi ke-4 menjadi seperti unit *Sequencing Batch Reactor*. Terlebih lagi bak pengendap tidak digunakan sebagai unit pengendapan. Tentu saja hal ini berisiko menurunkan kualitas air limbah sehingga tidak menutup kemungkinan melebihi batas baku mutu air limbah.

Aspek SDM: Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, operasional dan monitoring IPAL dilakukan oleh operator IPAL. Dari hasil wawancara terhadap 4 narasumber yang menjadi operator IPAL memaparkan bahwa pendidikan terakhir dari masing-masing pekerja operator berasal dari STM/SMK dengan disiplin ilmu yang diambil adalah otomotif, elektro, dan mesin. Tidak hanya itu dari pihak operator tidak mengerti dengan variabel kontrol IPAL yang harus dipantau setiap hari seperti beban BOD, umur lumpur, SVI, kebutuhan oksigenasi, dan rasio F/M. Dari segi waktu kerja, operator IPAL dari waktu kerja efektif 10 jam rata-rata 6 jam digunakan untuk membantu pekerjaan di proses produksi. Hal ini tentunya dapat menyebabkan kekosongan monitoring IPAL selama 6 jam. Oleh karena itu dalam penelitian ini input dari permasalahan pada SDM terletak pada Kualitas dan Kuantitas dari operator ipal itu sendiri dalam menjalankan operasional IPAL dan pengelolaan air limbah PT X.

Aspek Pemerintahan: Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan dan wawancara narasumber pihak pemerintahan memiliki pengaruh dalam pengelolaan air limbah PT X. apabila kontroling atau pengawasan pemerintah sangat ketat dan teratur maka pengelola air limbah mau tidak mau akan mencari cara agar limbah yang dikeluarkan selalu memenuhi baku mutu. Akan tetapi, dalam penelitian ini untuk aspek pemerintahan tidak diukur dalam analisis risiko, hanya sebatas penggambaran dari pengaruh kegagalan pengolahan air limbah dari faktor eksternal

Dari penjelasan diatas maka faktor risiko utama dari kegagalan IPAL dalam mengolah air limbah yang kurang optimal adalah faktor internal risiko utama teknis dan faktor internal risiko

utama SDM sedangkan untuk faktor eksternal risiko utama adalah pemerintahan.

4.4.1. Identifikasi Risiko Dasar Pada Aspek Teknis

Dari penjelasan sebelumnya aspek teknis merupakan salah satu faktor risiko utama yang dapat mempengaruhi kegagalan dalam IPAL. Dalam penelitian ini, aspek teknis yang dimaksud mengacu pada Instalasi Pengolah Air Limbah (IPAL). Oleh karena itu sesuai dengan kondisi dilapangan, aspek teknis terdiri dari unit pengolahan air limbah PT X yakni Tangki Aerasi dan *Sequencing Batch Reactor*/ Tangki Aerasi 4.

Dikarenakan input permasalahan aspek teknis terletak pada unit IPAL maka unit IPAL (*Aeration Tank* dan SBR) sendiri merupakan faktor risiko utama level 2. Apabila dalam suatu proses pengolahan limbah dengan *Activated Sludge* itu diharapkan dapat menurunkan beban pencemar air limbah secara signifikan maka variabel kontrol dalam sistem pengolahan itu harus memenuhi batas-batas kriteria desain. Maka dalam diagram diatas variabel kontrol unit pengolahan menjadi faktor risiko dasar. Menurut metcalf dan eddy (2003) variabel kontrol yang dapat mempengaruhi performa IPAL PT X yakni:

- a) Tangki Aerasi dan SBR

Beban BOD yang masuk (*Organic Loading Rate*), merupakan jumlah bahan organik yang dapat diolah dengan mikroorganisme dengan membutuhkan oksigen sebagai penunjang proses metabolisme nya (Wisconsin Department of Natural Resources, 2010). Dengan beban BOD yang tinggi maka dapat menyebabkan performa berkurang dikarenakan kebutuhan oksigen dan mikroorganismenya meningkat. Jika beban BOD melebihi batas kriteria maka dapat berpengaruh pada variabel kontrol yang lain yakni rasio *food to microorganism* F/M (State of Michigan DEQ, 2012).

Beban BOD yang masuk pada tangki aerasi IPAL PT X berkisar antara 0,93-1.35 kg BOD/ m³.hari (Perhitungan di Lampiran) dimana nilai tersebut sudah melebihi batas kriteria desain metcalf dan Eddy (2014) yakni 0,3-0,7 kg BOD/ m³.hari (Tangki Aerasi) dan 0,1-0,3 kg BOD/ m³.hari (*Sequencing Batch*

Reactor) . tentunya hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari tangki aerasi untuk mengolah air limbah yang masuk.

Food to Microorganism (Rasio F/M)

Rasio F / M adalah parameter kontrol yang penting karena jumlah biomassa yang hadir akan mempengaruhi efisiensi penyisihan BOD maupun COD (EPA, 1997). Tangki aerasi IPAL PT X memiliki rasio F/M yang cukup besar dikarenakan konsentrasi konstituen yang masuk (BOD) dan debit air limbah yang masuk cukup besar sehingga menghasilkan rasio F/M mulai dari 0,73-1,07 (Perhitungan di Lampiran)

Kriteria desain pada Metcalf dan Eddy (2014) menyatakan bahwa rasio F/M berkisar antara 0,2-0,4 (Tangki Aerasi) dan 0,04-0,1 (*Sequencing Batch Reactor*), Hal tersebut menandakan bahwa beban polutan yang masuk lebih besar daripada konsentrasi mikroorganisme yang ada pada reaktor. Hal tersebut dapat berakibat buruk pada proses penyisihan kandungan organik seperti BOD dan COD (Darvis dan Cornwell, 1991).

Kebutuhan Oksigen

Kebutuhan oksigen adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme aerobik dalam menghilangkan material organik. Oksigen juga selain digunakan dalam penyisihan material organik yakni BOD akan tetapi sangat dibutuhkan dalam proses nitrifikasi dengan menjadi akseptor elektron terakhir (Metcalf dan Eddy, 2014). Berdasarkan hasil perhitungan di lampiran kebutuhan oksigen untuk menurunkan beban pencemar BOD dan amonia nitrogen dibutuhkan oksigen sebanyak 808,6 m³/jam. Sedangkan kondisi eksisting dari kebutuhan oksigen hanya sampai pada 763,9 m³/jam. Hal ini memungkinkan penyisihan amonia nitrogen tidak dapat berjalan secara optimal sehingga berdasarkan data efisiensi kinerja IPAL parameter amonia tidak dapat kurang dari baku mutu dikarenakan adanya kekurangan oksigen untuk proses nitrifikasi.

Umur Lumpur (Solid Retention Time)

Kontrol Waktu Retensi Padatan (SRT) dalam proses lumpur aktif sangat penting untuk memastikan pengolahan air limbah yang efektif. SRT menunjukkan tingkat pertumbuhan mikroorganisme dalam proses lumpur aktif, dengan kontroling SRT maka dapat menstabilkan penyisihan ammonia oleh proses nitrifikasi, dan

nutrien biologis lainnya (Balbierz dan Knap, 2017). Berdasarkan perhitungan di Lampiran SRT/ umur lumpur dari sistem *Activated Sludge* PT X sebesar 16,5 hari dimana yang seharusnya sesuai dengan kriteria desain metcalf dan Eddy (2014) yakni 3-15 hari.

Sludge Volume Index

Sludge Volume Index atau SVI merupakan parameter terpenting dalam menentukan karakteristik pengendapan lumpur/biomassa *activated sludge*. Nilai SVI dari *activated sludge* IPAL PT X berkisar antara 361,5-444,9 mL/g dimana ketika SVI memiliki nilai cukup tinggi atau lebih dari kriteria desain yakni 150 mL/g maka dapat dipastikan bahwa terdapat *bulking sludge* yang membuat penyisihan biomasa dan TSS tidak sempurna seperti hasil perhitungan efisiensi penyisihan di sub-bab sebelumnya. sedangkan apabila nilai SVI berada pada range 100-150 menandakan pengendapan lumpur dalam keadaan baik dengan daya kompaksi yang tinggi (Janczukowicz *et al.*, 2000). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zinatizadeh *et al* (2011) SVI dengan nilai < 100 mL/g memiliki persentase penyisihan COD > 90%.

4.4.2. Identifikasi Risiko Dasar Pada Aspek SDM

Selain aspek teknis, performa dari IPAL PT X juga dipengaruhi oleh Aspek Sumber Daya Manusia (SDM) pengelola. Berdasarkan hasil pengamatan, kondisi eksisting dari SDM pengelola IPAL PT X terkendala dalam kualitas dan kuantitas.

Menurut Kemenkes RI (2011), faktor dasar yang mempengaruhi kinerja operator IPAL dibagi menjadi 2, yakni faktor kuantitas dan faktor kualitas. Oleh karena itu, penyebab kegagalan atau permasalahan dalam SDM pengelola IPAL PT X ditentukan oleh 2 faktor risiko dasar yakni kuantitas dan kualitas. Dari hasil survei terhadap operator IPAL PT X didapatkan hasil yakni:

a) Operator IPAL

Faktor Kuantitas

Berdasarkan hasil analisis beban kerja yang dihitung dibutuhkan pegawai sebanyak 2/shift untuk menangani dan memantau operasional IPAL.

Faktor Kualitas

Berdasarkan hasil wawancara dengan para pekerja baik karyawan dan supervisor operator IPAL PT X, dari ke-4 pekerja dalam divisi operasional IPAL memiliki pendidikan terakhir yakni STM atau SMK dengan jurusan yang tidak ada kaitannya dengan air limbah. Tidak hanya itu, para pekerja belum pernah diberikan fasilitas mengikuti pelatihan atau sertifikasi keahlian di bidang air limbah. pengalaman kerja juga menjadi variabel yang signifikan dalam penentuan kualitas kinerja operator dalam menangani IPAL. Menurut Bili *et al* (2018), pengalaman kerja memiliki korelasi positif dengan kualitas kinerja pekerja dibuktikan dengan perubahan satu variabel pengalaman kerja maka akan meningkatkan kinerja pekerja. Dalam risiko dasar kualitas, parameter yang diukur adalah pengalaman kerja operator IPAL.

Dari semua penjelasan diatas maka dapat dibuat sebuah diagram *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk memvisualisasikan hubungan sebab dan akibat dari kegagalan dalam pengolahan air limbah PT X. Berikut adalah gambar 4.6 yang berisi diagram FTA Pengolahan IPAL PT X.

4.5. Analisis Risiko dengan Menggunakan FMEA

Setelah mendapatkan faktor risiko dasar tahap selanjutnya adalah menentukan penilaian risiko untuk mendapatkan peringkat risiko yang paling berpengaruh pada kegagalan utama. Dalam analisis risiko ini langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan bobot nilai dari kedua aspek yang dikaji.

4.5.1. Penentuan Nilai Bobot Kepentingan

Penentuan nilai bobot kepentingan untuk masing-masing faktor risiko digunakan untuk memudahkan dalam proses pertimbangan prioritas optimasi apabila terdapat 2 risiko yang memiliki nilai risiko yang sama. Pemberian bobot untuk masing-masing faktor risiko utama didasarkan atas kondisi eksisting di lapangan. Semakin besar dampak dari risiko terhadap kegagalan utama maka semakin besar pula bobot nilai yang diberikan. Berikut adalah pembagian bobot nilai terhadap faktor risiko utama yang dapat dilihat pada Tabel 4.6.

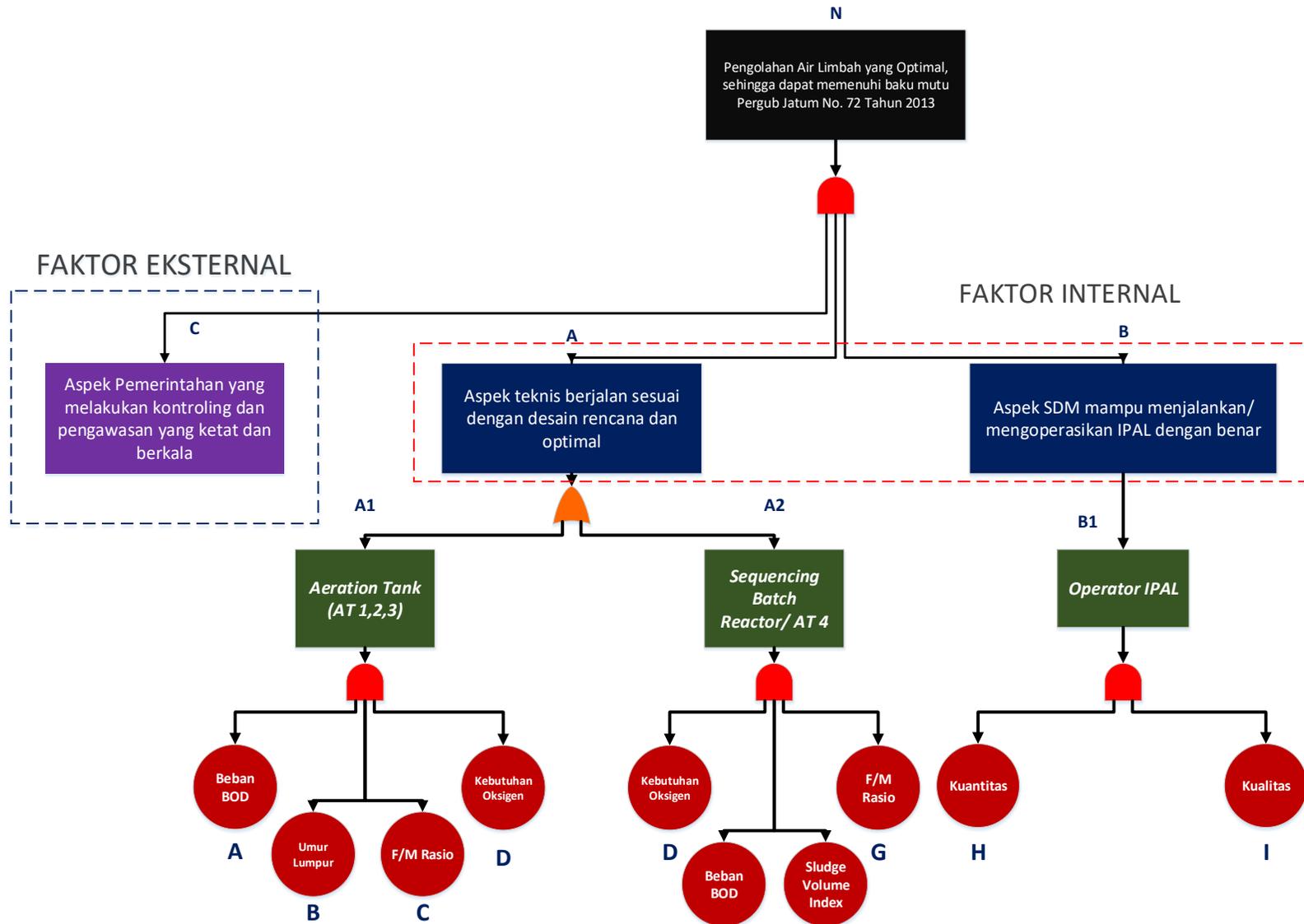
Tabel 4.6 Pembobotan Nilai pada Faktor Risiko Utama

No	Faktor Risiko Utama	Bobot Nilai
1	Teknis	50%
2	Sumber Daya Manusia	50%

Dari Tabel 4.6 diatas pembagian bobot untuk faktor risiko utama teknis dan SDM masing-masing adalah 50%, dikarenakan Aspek teknis dan SDM diberikan nilai yang seimbang dikarenakan untuk mencapai suatu sistem yang optimal maka *man* and *machine* harus seimbang (Akter dan Hossain, 2017). Untuk nilai 50% tersebut berasal dari asumsi yang berdasar pada literatur yang terkait dimana nilai 50% merupakan penggambaran bahwa bobot penilaian untuk 2 faktor risiko tersebut disama ratakan atau diseimbangkan. Dari pembobotan diatas maka optimasi IPAL PT X harus berdampingan dengan peningkatan SDM pengelola IPAL sehingga pengelolaan air limbah dapat berjalan dengan baik. Berikut adalah penilaian pengaruh risiko dasar yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 untuk aspek teknis dan Tabel 4.8 untuk aspek SDM.

Tabel 4.7 Nilai Pengaruh Risiko Dasar Teknis

Risiko Dasar	Poin Pengaruh					Total
	Beban BOD	Rasio F/M	Umur Lumpur	Kebutuhan Oksigen	S VI	
Beban BOD	1	1	0	0	1	2
Rasio F/M	1	1	1	0	1	3
Umur Lumpur	0	1	1	0	0	1
Kebutuhan Oksigen	1	1	1	1	1	4
SVI	0	1	0	0	0	1



Gambar 4.9 Diagram FTA Pengolahan Air Limbah PT X

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 4.7 menunjukkan tingkat pengaruh dari faktor risiko dasar satu dengan yang lainnya. Nilai 1 menandakan bahwa risiko dasar berpengaruh dan mengendalikan risiko dasar lainnya. Sebagai contoh menurut Metcalf dan Eddy (2014) dan *State of Michigan DEQ* (2012) rasio F/M, beban BOD, umur lumpur dan SVI dapat dipengaruhi oleh kebutuhan oksigen, apabila suplai oksigen meningkat maka rasio F/M turun, Beban BOD tereduksi, umur lumpur naik, dan SVI akan turun. Hal ini disebabkan jumlah mikroba dalam air limbah meningkat apabila terdapat suplai oksigen yang mencukupi, dan secara otomatis beban organik akan semakin cepat tereduksi dan bioflok yang terbentuk akan semakin baik sehingga bioflok tersebut mudah mengendap.

Oleh karena itu dari penilaian diatas dapat ditentukan persentase pembobotan dengan memperhatikan prioritas dari penilaian pada Tabel 4.7 dimana prioritas pertama adalah kebutuhan oksigen, kedua adalah rasio F/M, ketiga adalah beban BOD, keempat adalah umur lumpur, dan yang terakhir adalah SVI. Khusus untuk umur lumpur lebih diprioritaskan karena umur lumpur merupakan variabel kontrol sedangkan SVI merupakan variabel respons yang sulit untuk dikendalikan.

Berikut adalah Tabel 4.8 yang berisikan persentase pembobotan pada setiap risiko dasar.

Tabel 4.8 Pembobotan Nilai pada Aspek Teknis

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Bobot Penilaian
Aspek Teknis	Tangki Aerasi 1	Beban BOD	20%
	Tangki Aerasi 2		
	Tangki Aerasi 3		
	Tangki Aerasi 4/SBR		
	Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	25%
	Tangki Aerasi 2		
	Tangki Aerasi 3		
	Tangki Aerasi 4/SBR		

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Bobot Penilaian
	Tangki Aerasi 1		
	Tangki Aerasi 2	Umur Lumpur	15%
	Tangki Aerasi 3		
	Tangki Aerasi 1		
	Tangki Aerasi 2	Kebutuhan oksigen	30%
	Tangki Aerasi 3		
	Tangki Aerasi 4/SBR	SVI	10%

Nilai Persentase didapatkan dari penilaian tingkat pengaruh antar risiko dasar pada Tabel 4.7 yang berdasar pada literatur dimana nilai tersebut menggambarkan tingkat pengaruh risiko dasar terhadap kegagalan utama. Sehingga semakin tinggi prioritasnya maka semakin besar bobot nilai dan semakin besar pula potensi pengaruh terhadap kegagalan.

Berikut adalah Tabel 4.9 yang berisikan penilaian pengaruh dari risiko SDM dimana, variabel pengaruh yang diambil sebagai perbandingan adalah kinerja dan produktivitas menurut radianto (2000).

Tabel 4.9 Nilai Pengaruh Risiko Dasar SDM

Risiko Dasar	Poin Pengaruh		Total
	Kinerja	Produktivitas	
Kualitas	1	1	2
Kuantitas	0	1	1

Dari Tabel 4.9 diatas dapat ditarik kesimpulan bahwasanya faktor risiko kualitas dapat mempengaruhi kinerja dan produktivitas dari pekerja. Menurut radianto (2000) produktivitas dan kemampuan pekerja dipengaruhi oleh kualitas SDM. Maka dari itu

untuk prioritas pertama dalam pembobotan adalah faktor risiko dasar kualitas.

Berikut adalah Tabel 4.10 yang berisikan persentase bobot nilai terhadap faktor risiko dasar SDM

Tabel 4.10 Pembobotan Nilai pada Aspek SDM

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Dasar	Bobot Penilaian
	Operator IPAL	Kuantitas	40%
Aspek Sumber Daya Manusia	Operator IPAL 1	Kualitas	60%
	Operator IPAL 2		
	Operator IPAL 3		
	Operator IPAL 4		

Dari Tabel 4.10 diatas faktor risiko dasar kualitas diberikan persentase nilai lebih tinggi dibandingkan dengan kuantitas dengan asumsi persentase 60% untuk risiko kualitas dan 40% untuk risiko kuantitas. Pemberian persentase ini didasarkan pada tingkat pengaruh dari faktor risiko baik kualitas maupun kuantitas dimana, kualitas sangat menentukan kinerja tiap individu pekerja sedangkan kuantitas hanya mempengaruhi produktivitas pekerja menurut Utomo dan Nugroho (2014).

4.5.2. Penentuan Nilai Severity

Penentuan Severity adalah penilaian terhadap keseriusan dari efek yang ditimbulkan. Dalam arti setiap kegagalan yang timbul akan dinilai seberapa besarkah tingkat keseriusannya (Puspitasari dan Martanto, 2014). Dalam penelitian ini nilai severity didasarkan atas kehilangan peluang antara kondisi eksisting dengan kondisi ideal. Dimana kondisi eksisting adalah nilai dari variable kontrol proses IPAL dan kondisi ideal didapatkan dari kriteria desain. Batasan nilai dalam analisis adalah 1-5, karena menurut Amanda (2016) dengan range nilai 1-5 dapat dengan mudah menetapkan interval masing-masing tingkatan sehingga

penilaian menjadi lebih sederhana untuk diimplementasikan. Kategori penilaian risiko dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Kategori Nilai Severity

Range Nilai	Kategori Severity	Rating
≤ 19%	Kegagalan tidak memiliki pengaruh/ tidak terjadi kegagalan	1
20-39%	Bentuk kegagalan berpengaruh pada hasil pengolahan	2
40-59%	Menyebabkan hilangnya performa dari fungsi, dan berpengaruh terhadap hasil pengolahan	3
60-79%	Menyebabkan bahaya yang akan melampaui standar aturan pemerintah/baku mutu nasional pengurangan hasil kualitas effluen yang signifikan	4
≥ 80%	Kegagalan menyebabkan hasil pengolahan tidak dapat diterima oleh lingkungan	5

Sumber : Amanda et al., 2016

Adapun kategori dari skala risiko yang dapat dilihat pada Tabel 4.12. skala 0-4 memiliki kategori risiko yang ditimbulkan mulai dari risiko tidak berpengaruh sampai risiko menyebabkan kualitas air limbah melampaui standar baku mutu.

Tabel 4.12 Kategori Skala Risiko

Skala Besar Risiko yang Ditimbulkan				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Risiko yang ditimbulkan tidak berpengaruh kepada proses selanjutnya dan hasil pengolahani	Risiko yang ditimbulkan dapat berpengaruh kepada proses selanjutnya dan hasil pengolahan	Risiko yang ditimbulkan dapat menyebabkan fungsi unit selanjutnya terganggu dan berpengaruh kepada hasil pengolahan	Risiko yang ditimbulkan dapat menyebabkan hasil pengolahan yang akan melampaui standar baku mutu	Risiko yang ditimbulkan dapat menyebabkan an air limbah melampaui standar baku mutu

Sumber: Wahyuningsih et al., 2018

Berikut adalah Tabel 4.13 yang berisikan skala kondisi lingkungan yang nantinya digunakan sebagai perhitungan nilai *severity* dari masing-masing risiko dasar yang teridentifikasi. Skala ini dibuat dengan range 1-5 dengan kategori kondisi lingkungan mulai dari kondisi ideal hingga kondisi jauh dari baku mutu. Deskripsi nilai 1 adalah kondisi buruk, dengan skor 5 maka dapat dikatakan sangat baik. Semakin tinggi nilai atau skor kondisi lingkungan menandakan kondisi tersebut sangat baik.

Tabel 4.13 Kategori Skala Kondisi Lingkungan

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Kondisi ideal yang diinginkan untuk dicapai, tidak menimbulkan pengaruh pada proses selanjutnya	Kondisi membuat timbulnya risiko yang dapat berpengaruh kepada proses selanjutnya, masih dalam batasan standar baku mutu	Kondisi membuat timbulnya risiko yang menyebabkan fungsi unit selanjutnya terganggu namun masih dalam batasan standar baku mutu	Kondisi telah dibawah batasan baku mutu sehingga menyebabkan hasil pengolahan yang akan melampaui standar baku mutu	Kondisi telah jauh dibawah baku mutu sehingga menyebabkan hasil pengolahan malampaui standar baku mutu

Sumber: Wahyuningsih *et al.*, 2018

Penilaian Severity Aspek Teknis

Berikut adalah contoh penilaian severity pada salah satu faktor risiko utama teknis yakni tangki aerasi 1 dengan faktor dasar yakni Beban BOD. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.14 dibawah ini. Skala besar risiko pada tabel tersebut menunjukkan selisih dari nilai maksimum dengan nilai eksisting skala kondisi lingkungan.

Tabel 4.14 Skala Penilaian Beban BOD

Skala Besar Risiko Beban BOD				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Nilai Beban BOD berkisar antara 0,3-0,7 kg BOD/m ³ .hari	Nilai Beban BOD berkisar antara 0,71-1,01	Nilai Beban BOD berkisar antara 1,02-1,42	Nilai Beban BOD berkisar antara 1,43-1,83	Nilai Beban BOD > 1,83

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada **Lampiran B** (poin II.1) didapatkan nilai Beban BOD pada tangki aerasi 1 sebesar 0,93 Kg BOD/ m³.hari dimana jika nilai Beban BOD sangat tinggi melebihi batas kriteria desain 0,7 Kg BOD/ m³.hari (Metcalf dan Eddy, 2014) akan menyebabkan peningkatan konsentrasi effluen outlet IPAL (Sonwane dan Sayyad, 2015). jika dinilai sesuai Tabel 4.14 diatas maka skala kondisi lingkungannya sebesar 4 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1 perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Severity} &= \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1) \\
 \% \text{ Severity} &= \frac{5 - 4}{4} \times 100\% \\
 &= 20\%
 \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai severity berdasarkan Tabel 4.11 yakni sebesar 2.

Berikut adalah contoh penilaian severity pada tangki aerasi 1 dengan faktor dasar yakni rasio F/M. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.15 dibawah ini.

Tabel 4.15 Skala Penilaian Rasio F/M

Skala Besar Risiko Rasio F/M (<i>Food to Microorganism</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Nilai Rasio F/M berkisar antara 0,2-0,4	Nilai Rasio F/M berkisar antara 0,41-0,61	Nilai Rasio F/M berkisar antara 0,62-0,82	Nilai Rasio F/M berkisar antara 0,83-1,03	Nilai Rasio F/M berkisar antara > 1,03

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada **Lampiran B** (poin II.2) didapatkan nilai rasio F/M pada tangki aerasi 1 sebesar 0,73.hari dimana jika nilai F/M melebihi batas kriteria desain dapat menyebabkan flok yang tidak bagus dan efisiensi menurun (PSATS, 2014). Jika dinilai sesuai Tabel 4.15 diatas maka skala kondisi lingkungannya sebesar 3 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1 perhitungan sebagai berikut:

$$\% \textit{ Severity} = \frac{\textit{Skala kondisi ideal} - \textit{Skala kondisi eksisting}}{\textit{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\begin{aligned} \% \textit{ Severity} &= \frac{5 - 3}{3} \times 100\% \\ &= 40\% \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai *severity* berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 3.

Berikut adalah contoh penilaian *severity* pada tangki aerasi 1 dengan faktor dasar yakni umur lumpur (SRT). Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.16 dibawah ini.

Tabel 4.16 Skala Penilaian Umur Lumpur

Skala Besar Umur Lumpur (<i>Solid Retention Time</i>)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Nilai SRT berkisar antara 3-15 hari	Nilai SRT berkisar antara 16-28	Nilai SRT berkisar antara 29-43	Nilai SRT berkisar antara 44-54	Nilai SRT berkisar antara > 54

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada **Lampiran B** (poin II.3) didapatkan nilai umur lumpur pada tangki aerasi 1 sebesar 43 hari dimana jika umur lumpur terlalu lama maka kebutuhan oksigen dan energi akan lebih banyak dibutuhkan (Smith, 2018) jika dinilai sesuai Tabel 4.16 diatas maka skala kondisi lingkungannya sebesar 3 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1 perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ Severity} = \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Severity} &= \frac{5-3}{3} \times 100\% \\ &= 40\% \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai severity berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 3

Berikut adalah contoh penilaian severity pada tangki aerasi dengan faktor dasar yakni kebutuhan diffuser. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.17 dibawah ini.

Tabel 4.17 Skala Penilaian Kebutuhan Oksigen

Skala Besar Kebutuhan Oksigen				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Suplai Oksigen ≥ 808,6 m³/jam	Suplai Oksigen 807,6- 797,6 m ³ /jam	Suplai Oksigen 796,6- 786,6 m ³ /jam	Suplai Oksigen ≥ 785,6- 775,6 m ³ /jam	Suplai Oksigen ≤ 765,6 m³/jam

Keterangan:



Kondisi Ideal



Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada lampiran B (poin II.4) didapatkan kebutuhan oksigen untuk menurunkan amonia nitrogen sampai dengan baku mutu sebesar 808,6 m³/jam, sedangkan perhitungan kebutuhan oksigen eksisting hanya 763,9 m³/jam apabila dinilai sesuai Tabel 4.17 diatas maka skala kondisi lingkunganya sebesar 1 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1 perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ Severity} = \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Severity} &= \frac{5 - 1}{5} \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai *severity* berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 5.

Berikut adalah contoh penilaian *severity* pada tangki aerasi 4/SBR dengan faktor dasar yakni *sludge volume index*. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.18 dibawah ini.

Tabel 4.18 Skala Penilaian SVI

Skala Besar <i>Sludge Volume Index</i> (SVI)				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Nilai SVI 100-150 mL/g	Nilai SVI 151-201 mL/g	Nilai SVI 202-252 mL/g	Nilai SVI 253-303 mL/g	Nilai SVI < 303 mL/g

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada **Lampiran B** (poin II.5) didapatkan nilai SVI pada tangki aerasi 4/SBR sebesar 389,3 (outlet Tangki Aerasi 3) dimana jika SVI > 150 ml/gr maka dapat dipastikan banyak bakteri *filamentous* yang tumbuh dan menyebabkan bulking sehingga lumpur sulit/ lama mengendap (Willen, 1995) jika dinilai sesuai Tabel 4.18 diatas maka skala kondisi lingkungannya sebesar 1 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1 perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ Severity} &= \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1) \\ \% \text{ Severity} &= \frac{5 - 1}{5} \times 100\% \\ &= 80\% \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai severity berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 5.

Dengan demikian dapat disusun worksheet penilaian severity dari aspek teknis yang dapat dilihat pada Tabel 4.17

dibawah ini. Tabel 4.19 merupakan worksheet penilaian FMEA dari faktor risiko utama teknis.

Tabel 4.19 Penilaian Severity pada Aspek Teknis

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Severity
Aspek Teknis	Tangki Aerasi 1	Beban BOD	A	2
	Tangki Aerasi 2	Beban BOD	A	3
	Tangki Aerasi 3	Beban BOD	A	2
	SBR/Tangki Aerasi 4	Beban BOD	E	5
	Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	C	3
	Tangki Aerasi 2	F/M Rasio	C	5
	Tangki Aerasi 3	F/M Rasio	C	3
	SBR/Tangki Aerasi 4	F/M Rasio	G	5
	Tangki Aerasi 1-3	Umur Lumpur	B	3
	Tangki Aerasi 1-4	Kebutuhan Oksigen	D	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	SVI	F	5

Penilaian Severity Aspek SDM

Berikut adalah contoh penilaian severity pada operator IPAL dengan faktor dasar yakni kuantitas. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.18 dibawah ini. Skala risiko dibuat sesuai dengan penilaian aspek sebelumnya yakni dengan rentang 0-4 untuk skala besar risiko dan 1-5 untuk skala kondisi lingkungan.

Tabel 4.20 Skala Penilaian Kuantitas

Skala Besar Risiko Kuantitas Pekerja				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar

Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Jumlah Pekerja ≥ 6 Untuk Total Shift	Jumlah Pekerja 5 Untuk Total Shift	Jumlah Pekerja 4 Untuk Total Shift	Jumlah Pekerja 3 Untuk Total Shift	Jumlah Pekerja ≤ 2 Untuk Total Shift

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari perhitungan pada lampiran didapatkan kuantitas ideal tenaga kerja operator IPAL PT X sebanyak 6 dari total shift dimana jika dinilai sesuai Tabel 4.18 diatas maka skala kondisi lingkungannya sebesar 2 sedangkan kondisi ideal berada pada skala 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1. Perhitungan sebagai berikut:

$$\% \text{ Severity} = \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1)$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Severity} &= \frac{5 - 2}{5} \times 100\% \\ &= 60\% \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai severity berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 4.

Berikut adalah contoh penilaian severity pada operator IPAL dengan faktor dasar yakni kualitas. Contoh skala risiko dan kondisi lingkungan dapat dilihat pada Tabel 4.19 dibawah ini.

Tabel 4.21 Skala Penilaian Kualitas

Skala Besar Risiko Kualitas Pekerja				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Skala Kondisi Lingkungan				
5	4	3	2	1
Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Pekerja dengan pengalaman kerja > 25 tahun	Pekerja dengan pengalaman kerja 25-20 tahun	Pekerja dengan pengalaman kerja 19-15 tahun	Pekerja dengan pengalaman kerja 14-10 tahun	Pekerja dengan pengalaman kerja < 10 tahun

Keterangan:

Kondisi Ideal Kondisi Eksisting

Dari data wawancara terhadap pegawai, didapatkan pengalaman kerja operator ipal 1 (supervisor) selama 19 tahun maka didapatkan skala kondisi lingkungan sebesar 3 dengan kondisi ideal yakni 5. Untuk mengetahui nilai dari *severity*-nya maka dihitung dengan persamaan 4.1. Perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Severity} &= \frac{\text{Skala kondisi ideal} - \text{Skala kondisi eksisting}}{\text{Skala kondisi ideal}} \dots\dots\dots(4.1) \\
 \% \text{ Severity} &= \frac{5-3}{5} \times 100\% \\
 &= 40\%
 \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai *severity* berdasarkan Tabel 5.8 yakni sebesar 3. Dalam sistem pekerja IPAL PT X mempunyai operator sebanyak 4 dimana operator ke-2, 3, dan 4 merupakan staff dengan masing-masing memiliki pengalaman kerja sebagai berikut:

Tabel 4.22 Pengalaman Kerja Operator IPAL PT X

Pekerja	Pengalaman kerja (Tahun)
Operator IPAL 2 (staff)	7
Operator IPAL 3 (staff)	7
Operator IPAL 4 (staff)	15

Maka penilaian *severity* dari masing-masing operator diatas dapat dilihat pada Tabel 4.21 dibawah ini.

Tabel 4.23 Penilaian *Severity* pada Pengalaman Kerja

Pekerja	Pengalaman kerja (Tahun)	% Severity	Nilai Severity
Operator ke 2 (staff)	7	80%	5
Operator ke 3 (staff)	7	80%	5
Operator ke 4 (staff)	15	60%	4

Dengan demikian dapat disusun worksheet penilaian *severity* dari aspek sumber daya manusia yang dapat dilihat pada Tabel 4.20 dibawah ini. Tabel 4.20 Worksheet Penilaian FMEA dari Faktor Risiko Utama SDM.

Tabel 4.24 Penilaian *Severity* pada Aspek SDM

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Severity
Aspek Sumber Daya Manusia	Operator IPAL 1 (Supervisor)	Kualitas	I	3
	Operator IPAL 2 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 3 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 4 (staff)	Kualitas	I	4

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Severity
	Operator IPAL (Semua)	Kuantitas	H	4

4.5.3. Penentuan Nilai *Occurance*

Penilaian *occurrence* dilakukan berdasarkan peluang kejadian masalah pada objek. *Occurance* menunjukkan frekuensi kejadian atau kumulatif kejadian pada objek terjadi. Penilaian *occurrence* didapatkan dari hasil kondisi eksisting dilapangan dan perkiraan kejadian yang mungkin terjadi (Amanda, 2016), dimana penentuan peluang muncul kegagalan berdasarkan skala 1-5. Nilai 5 artinya jumlah kejadian sering terjadi dan tidak ada pencatatan kejadian kegagalan lebih dari setahun dan nilai 1 artinya tingkat frekuensi jumlah kejadian jarang terjadi dan adanya pencatatan kejadian yang dilakukan setiap hari. Setelah mengetahui skala penilaian maka ditentukan kategori penilaiannya dan skala kuantitatifnya. Berikut adalah kategori penilaian *occurrence* untuk aspek teknis yang dapat dilihat pada Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 untuk aspek SDM

Tabel 4.25 Kategori Nilai *Occurance* Teknis

Indikator	Kategori <i>Occurance</i>	Nilai <i>Occurance</i>
Terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan, dalam 1 bulan hampir tidak pernah terjadi	Kegagalan tidak pernah terjadi	1

Indikator	Kategori Occurance	Nilai Occurance
Terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan, dalam 1 bulan terjadi kegagalan 1-10 kali	Kegagalan jarang terjadi	2
Terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan, dalam 1 bulan terjadi kegagalan 11-20 kali	Kegagalan cukup sering terjadi	3
Terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan, dalam 1 bulan terjadi kegagalan 21-30 kali	Kegagalan sering terjadi	4
Tidak terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio	Kegagalan sangat sering terjadi	5

Indikator	Kategori Occurance	Nilai Occurance
F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan lebih dari 1 bulan		

Tabel 4.26 Kategori Nilai Occurance SDM

Indikator	Kategori Occurance	Nilai Occurance
Terdapat pencatatan mengenai kinerja karyawan dan dalam 1 bulan hampir tidak pernah terjadi	Kegagalan tidak pernah terjadi	1
Terdapat pencatatan mengenai kinerja karyawan dan dalam 1 bulan terjadi permasalahan dalam pekerja 1-10 kali	Kegagalan jarang terjadi	2
Terdapat pencatatan mengenai kinerja karyawan dan dalam 1 bulan terjadi permasalahan dalam pekerja 11-20 kali	Kegagalan cukup sering terjadi	3
Terdapat pencatatan mengenai kinerja karyawan dan dalam 1 bulan terjadi permasalahan dalam pekerja 21-30 kali	Kegagalan sering terjadi	4

Indikator	Kategori Occurance	Nilai Occurance
Tidak terdapat pencatatan mengenai kinerja karyawan yang dilakukan lebih dari 1 bulan	Kegagalan sangat sering terjadi	5

Penilaian pada Aspek Teknis

Penilaian *Occurance* merupakan penilaian yang mengukur tingkat keseringan pemantauan risiko kegagalan yang memungkinkan terjadi. Penilaian *Occurance* didapatkan dari data/pencatatan terhadap kejadian kegagalan dalam kurun waktu tertentu. Akan tetapi dari hasil survei mengenai data riwayat kejadian kegagalan dalam unit IPAL pihak operator tidak pernah mencatat riwayat kejadian kegagalan dan tidak pernah melakukan pemantauan terhadap variabel proses seperti beban BOD, rasio F/M, umur lumpur, kebutuhan oksigenasi, dan SVI. Oleh karena itu maka penilaian untuk *Occurance* pada faktor risiko utama aspek teknis adalah 5 dengan indikator Tidak terdapat pencatatan mengenai jumlah kegagalan variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) yang dilakukan lebih dari 1 bulan.

Dengan demikian untuk penilaian *Occurance* dari aspek teknis IPAL PT X dapat disusun seperti pada Tabel 4.27 dibawah ini.

Tabel 4.27 Penilaian *Occurance* Teknis

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Occurance
Aspek Teknis	Tangki Aerasi 1	Beban BOD	A	5
	Tangki Aerasi 2	Beban BOD	A	5
	Tangki Aerasi 3	Beban BOD	A	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	Beban BOD	E	5

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Occurance
	Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	C	5
	Tangki Aerasi 2	F/M Rasio	C	5
	Tangki Aerasi 3	F/M Rasio	C	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	F/M Rasio	G	5
	Tangki Aerasi 1-3	Umur Lumpur	B	5
	Tangki Aerasi 1-4	Kebutuhan Oksigen	D	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	SVI	F	5

Penilaian *Occurance* pada Aspek SDM

Penilaian *Occurance* pada aspek SDM (Sumber Daya Manusia) didasarkan pada pencatatan masalah pada karyawan operator IPAL. Penilaian *Occurance* untuk aspek SDM sendiri sedikit berbeda dikarenakan faktor risiko dasar kualitas dan kuantitas akan terus menjadi permasalahan pekerja selama belum ada pembenahan.

.Berdasarkan hasil survei tidak terdapat data mengenai pencatatan permasalahan karyawan operator untuk itulah penilaian diberikan angka 5 dengan keterangan kegagalan sering terjadi karena tidak dapat dipastikan probabilitas terjadinya.

Berikut adalah Tabel 4.28 yang berisi rincian penilaian *occurance* untuk faktor risiko utama sumber daya manusia.

Tabel 4.28 Penilaian *Occurance* SDM

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Occurance
Aspek SDM	Operator IPAL 1 (supervisor)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 2 (staff)	Kualitas	I	5

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Occurance
	Operator IPAL 3 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 4 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL (Semua)	Kuantitas	H	5

4.5.4. Penentuan Nilai *Detection*

Nilai *detection* merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan dari pendeteksi kegagalan atau kontroling system dalam mendeteksi kegagalan atau mengendalikannya. Menurut Wahyuningsih (2018), nilai *detection* berbanding lurus dengan nilai *occurance* dikarenakan jika pencatatan mengenai jumlah kejadian kegagalan tidak pernah dilakukan besar kemungkinan kegagalan akan sering terjadi hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan detektor untuk mendeteksi/ mengendalikan kegagalan sangat buruk atau dapat dikatakan tidak mampu. Berikut adalah kategori penilaian *detection* yang dapat dilihat pada Tabel 4.29 dan Tabel 4.30

Tabel 4.29 Kategori Nilai *Detection* Teknis

Indikator	Detection	Nilai Detection
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) sangat baik	Deteksi terhadap kegagalan sangat baik	1
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan	Deteksi terhadap kegagalan cukup baik	2

Indikator	Detection	Nilai Detection
oksigen, umur lumpur dan SVI) cukup baik		
Kemampuan deteksi kegagalan terhdap variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) cukup	Deteksi terhadap kegagalan cukup	3
Kemampuan deteksi kegagalan terhdap variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) buruk	Deteksi terhadap kegagalan buruk	4
Kemampuan deteksi kegagalan terhdap variabel proses IPAL (beban BOD, rasio F/M, kebutuhan oksigen, umur lumpur dan SVI) sangat buruk	Deteksi terhadap kegagalan sangat buruk	5

Tabel 4.30 Kategori Nilai *Detection* SDM

Indikator	Detection	Nilai Detection
Kemampuan deteksi kegagalan terhdap kinerja karyawan/pekerja sangat baik	Deteksi terhadap kegagalan sangat baik	1
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap	Deteksi terhadap kegagalan cukup baik	2

Indikator	Detection	Nilai Detection
kinerja kayawan/ pekerja cukup baik		
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap kinerja kayawan/ pekerja cukup	Deteksi terhadap kegagalan cukup	3
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap kinerja kayawan/ pekerja buruk	Deteksi terhadap kegagalan buruk	4
Kemampuan deteksi kegagalan terhadap kinerja kayawan/ pekerja sangat buruk	Deteksi terhadap kegagalan sangat buruk	5

Dari hasil wawancara dengan narasumber yakni karyawan operator IPAL, kegiatan kontroling terhadap variabel kontrol IPAL sangat tidak pernah dilakukan dikarenakan keterbatasan kemampuan para karyawan dan kurangnya koordinasi dengan pihak quality management yang menguji air limbah. Pihak QM tidak pernah menunjukkan hasil uji lab mereka terhadap operator IPAL sehingga pihak operator tidak dapat mengetahui kualitas air limbah yang dihasilkan.

Oleh karena itu penilaian detection untuk faktor risiko utama teknis dan SDM memiliki nilai yang sama dengan nilai occurrence karena dalam penilaian occurrence baik faktor risiko teknis maupun SDM tidak terdapat pencatatan mengenai kegagalan baik IPAL ataupun kinerja karyawan sehingga dapat disimpulkan kemampuan deteksi pihak perusahaan terhadap variabel proses IPAL dan kinerja karyawan sangat buruk. Untuk penilaian *detection* pada faktor risiko teknis dapat dilihat pada Tabel 4.31 sedangkan untuk faktor risiko SDM dapat dilihat pada Tabel 4.32

Tabel 4.31 Penilaian *Detection* Teknis

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Detection
Aspek Teknis	Tangki Aerasi 1	Beban BOD	A	5
	Tangki Aerasi 2	Beban BOD	A	5
	Tangki Aerasi 3	Beban BOD	A	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	Beban BOD	E	5
	Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	C	5
	Tangki Aerasi 2	F/M Rasio	C	5
	Tangki Aerasi 3	F/M Rasio	C	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	F/M Rasio	G	5
	Tangki Aerasi 1-3	Umur Lumpur	B	5
	Tangki Aerasi 1-4	Kebutuhan Oksigen	D	5
	SBR/Tangki Aerasi 4	SVI	F	5

Tabel 4.32 Penilaian *Detection* SDM

Faktor Risiko Utama	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	Detection
Aspek SDM	Operator IPAL 1 (supervisor)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 2 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 3 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL 4 (staff)	Kualitas	I	5
	Operator IPAL (Semua)	Kuantitas	H	5

4.6. Evaluasi Risiko

Hasil dari evaluasi risiko ini adalah daftar tingkat prioritas untuk tindakan lebih lanjut (*The Institute of Risk Management*, 2002). Dalam tahap ini dibagi menjadi 2 tahap yakni perhitungan nilai RPN dan perangkaan risiko. Berikut adalah tahap pertama dari evaluasi risiko.

4.6.1. Perhitungan Nilai Risk Priority Number

Setelah mendapatkan nilai *severity*, *occurrence*, dan *detection*. Maka untuk mendapatkan besaran risiko dari masing-masing faktor risiko dasar adalah dengan menghitung nilai *Risk Priority Number* (RPN). Perhitungan RPN menggunakan persamaan 4.2 berikut

$$\text{RPN} = \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \dots\dots\dots(4.2)$$

Berikut adalah contoh perhitungan RPN terhadap faktor risiko dasar Beban BOD pada unit Tangki Aerasi 1.

$$\begin{aligned} \text{RPN} \\ (\text{BOD Load}) &= \text{Severity} \times \text{Occurance} \times \text{Detection} \\ &= 2 \times 5 \times 5 \\ &= 50 \end{aligned}$$

Dengan demikian, perhitungan RPN pada faktor risiko dasar lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.33 (teknis) dan Tabel 4.34 (SDM).

Tabel 4.33 Perhitungan RPN Aspek Teknis

Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	S	O	D	RPN
Tangki Aerasi 1	Beban BOD	A	2	5	5	50
Tangki Aerasi 2	Beban BOD	A	3	5	5	75
Tangki Aerasi 3	Beban BOD	A	2	5	5	50
SBR/Tangki Aerasi 4	Beban BOD	E	5	5	5	125
Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	C	3	5	5	75
Tangki Aerasi 2	F/M Rasio	C	5	5	5	125

Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	S	O	D	RPN
Tangki Aerasi 3	F/M Rasio	C	3	5	5	75
SBR/Tangki Aerasi 4	F/M Rasio	G	5	5	5	125
Tangki Aerasi 1-3	Umur Lumpur	B	3	5	5	75
Tangki Aerasi 1-4	Kebutuhan Oksigen	D	5	5	5	125
SBR/Tangki Aerasi 4	SVI	F	5	5	5	125

Dari Tabel 4.33 untuk faktor risiko utama teknis, nilai RPN tertinggi adalah 125. Adapaun faktor risiko dasar yang memiliki nilai RPN sebesar 125 adalah rasio F/M pada Tangki Aerasi 2 dan Kebutuhan Diffuser Tangki Aerasi.

Tabel 4.34 Perhitungan RPN Aspek SDM

Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	S	O	D	RPN
Operator IPAL 1 (supervisor)	Kualitas	I	3	5	5	75
Operator IPAL 2 (staff)	Kualitas	I	5	5	5	125
Operator IPAL 3 (staff)	Kualitas	I	5	5	5	125
Operator IPAL 4 (staff)	Kualitas	I	5	5	5	125
Operator IPAL (Semua)	Kuantitas	H	4	5	5	100

Dari Tabel 4.34 untuk faktor risiko utama SDM, nilai RPN tertinggi adalah 125 yang dimiliki oleh faktor risiko dasar kualitas pada staff operator IPAL.

4.6.2. Perangkingan Risiko

Perangkingan risiko dilakukan berdasarkan nilai RPN yang telah didapat tiap masing-masing risiko dasar dan bobot nilai.

Untuk risiko yang memiliki RPN paling besar maka akan menduduki peringkat pertama atau paling unggul, sedangkan untuk RPN paling kecil akan menduduki peringkat terakhir atau paling rendah. Apabila terdapat risiko dengan nilai RPN sama maka akan dilihat pembobotan nilainya. Apabila bobot nilai besar maka risiko akan ditempatkan di peringkat pertama dan sebaliknya.

Berikut adalah Tabel 4.35 yang berisi hasil perangkingan faktor risiko dasar (Teknis) berdasarkan nilai RPN nya.

Tabel 4.35 Hasil Perangkingan Risiko Aspek Teknis

Peringkat	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	RPN	Bobot Penilaian
1	Tangki Aerasi 1-4	Kebutuhan Oksigen	D	125	30%
2	Tangki Aerasi 2	F/M Rasio	C	125	25%
	Tangki Aerasi 4/SBR	F/M Rasio	C	125	25%
3	SBR/Tangki Aerasi 4	Beban BOD	A	125	20%
4	Tangki Aerasi 4/SBR	SVI	F	125	10%
5	Tangki Aerasi 1	F/M Rasio	C	75	25%
	Tangki Aerasi 3	F/M Rasio	C	75	25%
6	Tangki Aerasi 2	Beban BOD	A	75	20%
7	Tangki Aerasi 1-3	Umur Lumpur	B	75	15%
8	Tangki Aerasi 1	Beban BOD	A	50	20%
	Tangki Aerasi 3	Beban BOD	A	50	20%

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa risiko yang memiliki pengaruh paling besar adalah kebutuhan oksigen tangki aerasi. Dengan nilai RPN sebesar 125 dan pembobotan sebanyak 30%

Untuk perangkingan risiko aspek SDM dapat dilihat pada Tabel 4.36 dibawah ini.

Tabel 4.36 Hasil Perangkingan Risiko Aspek SDM

Peringkat	Faktor Risiko Level 2	Faktor Risiko Dasar	Kode FTA	RPN	Bobot Penilaian
1	Operator IPAL 2 (staff)	Kualitas	I	125	60%
	Operator IPAL 3 (staff)	Kualitas	I	125	60%
	Operator IPAL 4 (staff)	Kualitas	I	125	60%
2	Operator IPAL (Semua)	Kuantitas	H	100	40%
3	Operator IPAL 1 (supervisor)	Kualitas	I	75	60%

Dari hasil diatas menunjukkan bahwa faktor risiko dasar dari aspek SDM adalah risiko dasar kualitas staff operator IPAL 2, 3, dan 4 dengan RPN sebesar 125 dengan pembobotan sebesar 60%.

4.7. Penanganan Risiko

Dari permasalahan diatas, risiko yang paling berpengaruh besar terhadap kinerja IPAL untuk faktor risiko teknis adalah kebutuhan oksigenasi IPAL dan untuk faktor risiko SDM adalah kualitas karyawan. Berikut adalah uraian mengenai penanganan risiko yang paling berpengaruh.

4.7.1. Penanganan Risiko Teknis

kondisi eksisting jumlah kebutuhan oksigen total yang terdapat di tangki aerasi sesuai dengan **Lampiran B** poin II.4

adalah 763,9 m³/jam. Sedangkan menurut hasil perhitungan kebutuhan oksigen dengan penurunan amonia nitrogen hingga baku mutu sesuai dengan **Lampiran B** poin II.4 adalah 808,6 m³/jam. dengan demikian untuk mencapai proses nitrifikasi yang optimal dibutuhkan penambahan suplai oksigen.

Penambahan suplai oksigen yakni sebesar 44,7 m³/jam Dilakukan dengan mempercepat rpm dari pompa udara. Atau dengan mengganti kompressor udara dengan yang baru. dikarenakan umur kompressor yang sudah lama dan tidak dapat diatur untuk kecepatan blower maka disarankan untuk mengganti kompressor dengan yang baru. Kompressor yang direkomendasikan untuk digunakan adalah tipe shundu akar blower dengan kapasitas udara yang dihembuskan sebesar 18,6-1200 m³/jam, dengan rpm yang dapat diatur mulai dari 650-815 rpm. Berikut adalah gambar kompressor shundu yang dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Kompressor Udara Shundu

Tidak hanya itu pemasangan alat DO meter sangat dibutuhkan untuk memantau kadar oksigen terlarut dalam air. menurut Bioscience (2016), kondisi yang ideal untuk terjadi proses

nitrifikasi (penyisihan amonium) yakni kandungan oksigen terlarut dalam air harus melebihi 2 mg O₂/L.

Dengan demikian risiko rasio F/M dalam IPAL terutama pada tangki aerasi akan mengalami penurunan dikarenakan semakin tinggi suplai oksigen dalam air limbah maka akan semakin cepat dihasilkan mikroorganisme baru sehingga material organik yang didegradasi juga akan semakin banyak. Tidak menutup kemungkinan beban BOD akan berkurang dan bioflok yang dihasilkan akan semakin bagus dan daya mengendapnya akan semakin besar.

4.7.2. Penanganan Risiko SDM

Untuk aspek SDM faktor risiko dasar yang paling berpengaruh menurut hasil analisis risiko adalah kualitas operator IPAL 2, 3, dan 4. Dimana kondisi eksisting dari kualitas operator IPAL dapat dikatakan jauh dari kata ideal. Dikarenakan operator IPAL memiliki pengalaman pekerjaan yang masih kurang jika dibandingkan dengan kondisi ideal, ditambah lagi riwayat pendidikan para operator bukan dari ilmu lingkungan atau air limbah akan tetapi berasal dari jurusan otomotif dan listrik dengan tidak dibekali sertifikasi keahlian bidang air limbah atau IPAL.

.Menurut Utomo dan Nugroho (2014), dalam meningkatkan kinerja karyawan/pekerja dengan pengalaman kerja yang minim adalah dengan meningkatkan kualitas kehidupan kerja mereka. Kualitas kehidupan kerja memiliki korelasi positif dan berpengaruh signifikan terhadap peningkatan kinerja karyawan. Untuk meningkatkan kualitas kehidupan kerja ini pihak manajemen harus memberikan kesempatan karyawan/pekerja mereka untuk mengembangkan diri melalui program pelatihan dan pengambilan keputusan yang berhubungan dengan pekerjaan mereka.

Oleh karena itu pihak manajemen perusahaan PT X disarankan untuk memberikan pengembangan diri pada setiap karyawannya dengan memberikan sebuah pelatihan berupa briefing setiap hari (*control of work*) sebelum bekerja yang dilakukan oleh pihak luar yang mengerti pengelolaan air limbah setiap hari dan seminar pengolahan air limbah baik untuk supervisor (Operator IPAL ke 1) dan staff operator (Operator IPAL ke-2, 3, dan 4).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. Risiko yang teridentifikasi sebagai risiko penyebab dasar pada penurunan kualitas effluen air limbah ditinjau dari faktor risiko utama/aspek teknis adalah Beban BOD, F/M rasio, Umur Lumpur, Kebutuhan oksigen, dan *Sludge Volume Index*.
Sedangkan untuk faktor risiko utama/aspek SDM adalah Kualitas dan Kuantitas operator IPAL
2. Risiko yang paling berpengaruh berdasarkan nilai RPN tertinggi yakni 125 dan pembobotan nilai terbesar sebanyak 30% untuk faktor risiko utama/aspek teknis adalah kebutuhan oksigen tangki aerasi dimana masih kurang untuk memaksimalkan proses nitrifikasi.
Sedangkan untuk faktor risiko utama/aspek SDM dengan nilai RPN 125 dengan pembobotan sebesar 60% adalah kualitas staff operator IPAL ke-2,3, dan 4 yang mana pengalaman kerja yang dimiliki masih kurang.
3. Penanganan risiko dilakukan pada penambahan debit udara yang semula 763,9 m³/jam menjadi 808,6 m³/jam yakni dengan menambah kecepatan RPM kompresor hingga terdapat kenaikan 44,7 m³/jam. Atau dengan rekomendasi lain yakni penggantian kompresor yang baru.
Penanganan risiko dasar SDM adalah memberikan pelatihan kepada operator IPAL berupa briefing sebelum kerja (*control of work*) setiap hari dan sertifikasi mengenai pengelolaan air limbah pada staff operator yang memiliki pengalaman kerja yang masih sedikit.

5.2. Saran

Untuk Penulis:

1. Menambahkan parameter lengkap sesuai pergub jatim No. 72 tahun 2013 (H_2S , Klor bebas, dan Minyak dan lemak) pada inlet dan outlet IPAL sebagai perbandingan tingkat probabilitas kegagalan pengolahan.
2. Menambahkan parameter nitrat dan nitrit pada sampel air limbah pada tiap unit untuk mengetahui adanya proses denitriifikasi dalam zona anoksik

DAFTAR PUSTAKA

- Akter, S. dan Kazi R. H. 2017. "Analysis on the proper utilization of man and machine to improve the efficiency and a proper line balancing of a sewing line: A case study". **International Journal of Scientific & Engineering Research**. 8 (12): 778-784
- Amanda, B. A., Moesriati, A. dan Nieke K. 2016. "Penilaian Risiko Adanya Total Koliform pada Air Produksi IPA X Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis". **Jurnal Teknik ITS**. 5, 2: 2337-3539
- Andrew, J. 2012. **Introduction to Fault Tree Analysis**. England: Nottingham University
- Apsari, M. N. 2013. "Analisis Risiko dan Optimasi Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Ngagel I" [Thesis]. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
- Balbierz, P. dan Marta K. 2017. Comparison of Methods for Solid Retention Time Determination and Control. *E3S Web of Conferences* 22 (8): 2-8
- Bili, W., Resmawan, E. dan Daud K. 2018. Pengaruh Pengalaman Kerja Terhadap Kinerja Pegawai di Kantor Kecamatan Laham Kabupaten Mahakam Ulu. **eJournal Pemerintah Integratif**. 6, 3: 465-474
- Borghesi, A., Gaudenzi, B. 2014. **Risk Management: How to Assess, Transfer and Communicate Critical Risk**. Italy: Springer
- Cameron, I. T dan Raghu R. 2005. **Process System Risk Management**. USA: Elsevier Academic Press
- Carlson, C. S. 2012. **Effective FMEAs**. USA : John Wiley & Sons, Inc
- Ching, Y. C. dan Ghufran R. 2017. "Biological Treatment of Fish Processing Saline Wastewater for Reuse as Liquid Fertilizer". **Sustainability**, 9 (7), 1062
- Crane, L., Gene G., Steve I., Doug J., Rod S. 2013. **Introduction to Risk Management**. USA : Extension Risk Management Education and Risk Management Agency

- Cristea, G dan DM Constantinescu. 2017. "A Comparative Critical Study Between FMEA and FTA Risk Analysis Methods". **IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering** 252,1: 012046
- Davis, M. L. and D. A. Cornwell. 1991. Introduction to Enviromental Engineering, McGraw Hill Book Co., Singapore.
- Dehghani, M. H., Beydokhti, T. T. 2018. "Investigating the quality and quantity of effluent in wastewater treatment plants of Iran: A case study of Tehran". **MethodsX** 5:871-880
- Ford Company. 2011. **Failure Mode and Effect Analysis**. Dearborn : Ford Motor Company
- Foster, T. S., 2004. **Managing Quality**. Pennsylvania State University: Prentice Hall.
- Ginting, P. 2007. **Sistem Pengelolaan Lingkungan dan Limbah Industri**. Bandung: Cv Yrama Widya
- Government of Western Australian. 1999. **Guidelines for Managing Risk In The Western Australian Public Sectors**. Government of Western Australia
- Hanafi, M. 2014. **Manajemen Risiko, Proses Manajemen Risiko, dan Enterprise Risk Management**. Jakarta : Universitas Terbuka. pp 1-40. ISBN 9790112173
- Hery, 2015. **Manajemen Risiko Bisnis**. Jakarta: PT Grasindo.
- Kemenkes RI. 2011. Pedoman Teknis Instalasi Pengolah Air Limbah. Jakarta: Direktorat Bina Pelayanan Penunjang Medik dan Sarana Kesehatan
- Kumar, R. P., Pinto, L. B., Somashekar, R. K. 2010. "Assessment Of The Efficiency Of Sewage Treatment Plants: A Comparative Study Between Nagasandra And Mailasandra Sewage Treatment Plants". **Kathmandu University Journal Of Science, Engineering And Technology**. 6 (2): 115-125
- Loosemore, M., Raftery, J., Reilly, C., dan Higgon, D. 2006. **Risk Management in Projects (2nd edition)**, New York, USA
- Marbun, R. J., Nia B. P., Wiwik B. 2015. "Identifikasi dan Analisis Risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pada Area Produksi PT. Pelita Cengkareng Paper".

Industrial Engineering Journal. 4, 4. <URL>
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/ieoj/article/view/9855>.

- Metcalf dan Eddy. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery* 3th Edition. New york: McGraw-Hill
- Metcalf dan Eddy. 2014. *Wastewater Engineering Treatment and Resource Recovery* 5th Edition. New york: McGraw-Hill
- Nidah, Lutfiatun. 2015. "Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja Unit Activated Sludge pada Instalasi Pengolah Air Limbah Rumah Sakit X Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA)" [Tugas Akhir]. Surabaya: Surabaya Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
- Nourmohammadi, D., Esmaeeli, M-B., Akbarian H. dan Mohammad G. 2013. "Nitrogen Removal in a Full-Scale Domestic Wastewater Treatment Plant with Activated Sludge and Trickling Filter". **Journal of Environmental and Public Health**. Vol 2013. Article ID 504705, 1-6
- The Pennsylvania State Association of Township Supervisors. 2014. **Module 16: The Activated Sludge Process Part II**. Pennsylvania: Gannett Fleming, Inc. Dering Consulting Group
- Pinontoan, J. H. 2010. **Konsep-konsep Manajemen Risiko TI**. Majalah PC Media
- Pradianti, K dan Mylla S. **Studi Proses Pengolahan Limbah Cair PT X**. Surabaya : Departemen Teknik Lingkungan ITS
- Presidential U. S. 1997. **Risk Assessment and Risk Management Framework for Environmental Health Risk Management: Final Report**. Washington, DC, USA: US Government Printing Office
- Priyanta, D. 2000. **Keandalan dan Perawatan**. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Puspitasari N. B., dan Arif M. 2014. "Penggunaan Fmea Dalam Mengidentifikasi Resiko Kegagalan Proses Produksi Sarung Atm (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus Pt. Asaputex Jaya Tegal)". **Jurnal Teknik Industri**. 9 (2): 93-98
- Rachman, A., Adianto, H. dan Gita P. L. 2016. "Perbaikan Kualitas Produk Ubin Semen Menggunakan Metode Failure Mode

- And Effect Analysis dan Failure Tree Analysis Di Institusi Keramik”. **Jurnal Online Institut Teknologi Nasional**. 4, 2: 24-35
- Reynold,T. D dan Paul A. R. 1996. **Unit Operations and Processes in Environmental Engineering**. Boston: PWS Publishing Company
- Rochmana, S. 2017. “Perancangan Profil Risiko dengan Menggunakan Metode FMEA Pada Proses Produksi Pabrik AMDK K3PG” [Tugas Akhir]. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Said, N.I., 2008, **Pengolahan Air limbah dengan Biakan Tersuspensi**. DKI Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan, BPPT
- Senders, J. W. 2004. **FMEA and RCA: the mantras*; of modern risk management**. Canada : BMJ Publishing Group Ltd & Institute for Healthcare Improvement
- Setyadi, 2013. **Fault Tree Analysis-Falur Mode Effect Analysis**. Bandung, repository, p. 2.
- Simamora, Y. 2010. “Analisis Risiko Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Pt Ajinomoto Berdasarkan Konsep Manajemen Risiko Lingkungan” [Tugas Akhir]. Surabaya: Departemen Teknik Industri FTI ITS
- Smith, Rob. 2018. Implementation of Solids Retention Time Control in Wastewater Treatment <URL> <https://www.ysi.com/ysi-blog/water-blogged-blog/2018/10/implementation-of-solids-retention-time-control-in-wastewater-treatment>
- Sonwane, N. S., Sayyad, S. U. 2015. “Effect of Organic Shock Loading On Extended Aeration System”. **International Journal of Modern Trends in Engineering and Research (IJMTER)**. 2, 7: 897-901
- Sperling, M. V. 2007. **Biological Wastewater Treatment Series Volume One Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal**. London: IWA Publishing
- State of Michigan DEQ. 2012. Activated Sludge Process Control. Michigan: State of Michigan Department of Environmental Quality.

- Sumiyati, S dan Imaniar. 2007. "Analisis Kinerja Pengolahan Air Limbah Pavillyun Kartika RSPAD Gatot Soebroto Jakarta". **Jurnal Presipitasi**. 2, 1:187-190
- Supriyatno, B. 2000. "Pengelolaan Air Limbah Yang Berwawasan Lingkungan Suatu Strategi dan Langkah Penanganannya". **Jurnal Teknologi Lingkungan**. 1, 1:17-26
- Suparmadja, A. 2014. "Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja IPAL Rumah Sakit Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)" [Thesis]. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
- Taheriyoun, M dan Saber M. 2014. **Reliability Analysis of Wastewater Treatment Plant Using Fault Tree Analysis and Monte Carlo Simulation**, <URL: <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4186-7>>
- Tay, J. H., Show, K. Y., dan Yung T. H. 2016. **Seafood Processing Wastewater Treatment**. England: Taylor & Francis Group
- The Australian/New Zealand Standards . 2009. **Risk Management - Principles and Guidelines ISO : 31000**. Australia: ISO
- The Institute of Risk Management. 2002. **A Risk Management Standard**. London : IRM
- UK Essays. 2013. **Aquaculture And Fishing Industries Environmental Sciences Essay**, <URL:<https://www.ukessays.com/essays/environmental-sciences/aquaculture-and-fishing-industries-environmental-sciences-essay.php?vref=1>>
- US EPA Victoria. 2009 July. "Guidelines For Risk Assessment of Wastewater Discharges to Waterways". **EPA Publication**, 1287
- Utomo S. H. dan Marno N. 2014. Model Peningkatan Kinerja Karyawan Melalui Kualitas Kehidupan Kerja. **EKOBIS**. 15, 1: 31-50
- Vaughan, E. J. & Vaughan, T., 2008. **Fundamentals of Risk and Insurance**. United States of America: John Wiley & Sons, Inc
- Wahyuningsih, I. 2018. "Pengurangan Risiko Kegagalan Kualitas Produksi Air Minum Isi Ulang Kecamatan Gubeng, Kota

- Surabaya Menggunakan Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)" [Tugas Akhir]. Surabaya: Departemen Teknik Lingkungan FTSLK ITS
- Willen, B. M. 1995. **Effect of Different Parameters on Settling Properties of Activated Sludge**. Goteborg: Chalmers University of Technology
- Wisconsin Department of Natural Resources. 2010. Introduction To Activated Sludge Study Guide. Washington DC: Wisconsin Department of Natural Resources.
- Wulandari, T., 2011. "Analisa Kegagalan Sistem dengan Fault Tree" [Skripsi]. Universitas Indonesia: Program Studi Sarjana Matematika.
- Wulansari, P. D. 2011. "Pengelolaan Limbah pada Pabrik Pengolahan Ikan di PT. Kelola Mina Laut Gresik". **Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan**. 3, 1:123-126

LAMPIRAN A Mass Balance

I.1. Perhitungan TSS

Bak Equalisasi

Konsentrasi TSS (Ctss)	= 191,3	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Massa Out	= Debit x Konsentrasi TSS	
	= 635 m3/hari x 191 mg/L x 0,001	
	= 121,5	kg/hari

Tangki Aerasi 1

Konsentrasi TSS (Ctss)	= 191,3	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Debit Resirkulasi	= 43,2	
Massa in	= Debit+Debit Resirkulasi x Konsentrasi TSS	
	= (634,8+43,2) m3/hari x 191 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 129,7	
%Removal	= -787%	Tanda (-) menandakan kenaikan
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= -787% x 129,7 kg/hari	
	= -1021,1	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 129,7 kg/hari - (-1021,1 kg/hari)	
	= 1150,8	kg/hari

Tangki Aerasi 2

Konsentrasi TSS (Ctss)	=	1697,3	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m3/hari
Debit Resirkulasi	=	43,2	
Massa in	=	(Debit+ (2 x Debit Resirkulasi)) x Konsentrasi TSS	
	=	(634,8 + (2 x 43,2)) m3/hari x 1697,3 mg/L x 0,001	kg/hari
	=	1224,1	
%Removal	=	-10%	Tanda (-) menandakan kenaikan
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	
	=	-10% x 1224,1 kg/hari	
	=	-118,4713524	
Massa Out	=	Massa In - Massa removal	
	=	1224,1 kg/hari - (-118,5 kg/hari)	
	=	1342,6	kg/hari

Tangki Aerasi 3

Konsentrasi TSS (Ctss)	=	1861,6	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m3/hari
Debit Resirkulasi	=	43,2	
Massa in	=	(Debit+ (2 x Debit Resirkulasi)) x Konsentrasi TSS	
	=	(634,8 + (2 x 43,2)) m3/hari x 1861,6 mg/L x 0,001	kg/hari
	=	1342,6	
%Removal	=	1%	Tanda (-) menandakan kenaikan
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	

$$\begin{aligned}
 &= 1\% \times 1342,6 \text{ kg/hari} \\
 &= 18,99964843 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 1342,6 \text{ kg/hari} - (19,0 \text{ kg/hari}) \\
 &= 1323,6 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 4

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi TSS (Ctss)} &= 1835,2 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit lumpur} &= 1,3 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} - \text{Debit lumpur}) \times \text{Konsentrasi TSS} \\
 &= (634,8 - 1,3) \text{ m}^3/\text{hari} \times 1835,2 \text{ mg/L} \times 0,001 \\
 &= 1162,7 \text{ kg/hari} \\
 \% \text{Removal} &= 98\% \text{ Tanda (-) menandakan kenaikan} \\
 \text{Massa Removal} &= \% \text{Removal} \times \text{Massa in} \\
 &= 98\% \times 1162,7 \text{ kg/hari} \\
 &= 1140,365828 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 1162,7 \text{ kg/hari} - (1140,4 \text{ kg/hari}) \\
 &= 22,3 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Bak Kontrol

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi TSS (Ctss)} &= 35,3 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit lumpur} &= 1,3 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} - \text{Debit lumpur}) \times \text{Konsentrasi TSS} \\
 &= (634,8 - 1,3) \text{ m}^3/\text{hari} \times 35,3 \text{ mg/L} \times 0,001 \\
 &= 22,3 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

	=	22,3	
%Removal	=	-86%	Tanda (-) menandakan kenaikan
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	
	=	-86% x 22,3 kg/hari	
	=	-19,19590917	
Massa Out	=	Massa In - Massa removal	
	=	22,3 kg/hari - (-19,2 kg/hari)	
	=	41,5	kg/hari

I.2. Perhitungan BOD

Bak Ekualisasi

Konsentrasi BOD (Cbod)	=	578,6	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Massa Out	=	Debit x Konsentrasi TSS	
	=	635 m ³ /hari x 579 mg/L x 0,001	
	=	367,3	kg/hari

Tangki Aerasi 1

Konsentrasi BOD (Cbod)	=	578,6	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Debit Resirkulasi	=	43,2	
Massa in	=	Debit+Debit Resirkulasi x Konsentrasi BOD	
	=	(634,8+43,2) m ³ /hari x 578,6 mg/L x 0,001	kg/hari
	=	392,3	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	=	-37%	
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	

$$\begin{aligned}
 &= -37\% \times 392,3 \text{ kg/hari} \\
 &= -143,8291105 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 392,3 \text{ kg/hari} - (-143,8 \text{ kg/hari}) \\
 &= 536,1 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 2

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi BOD (Cbod)} &= 790,7 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit Resirkulasi} &= 43,2 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} + (2 \times \text{Debit Resirkulasi})) \times \text{Konsentrasi BOD} \\
 &= (634,8 + (2 \times 43,2)) \text{ m}^3/\text{hari} \times 790,7 \text{ mg/L} \times 0,001 \text{ kg/hari} \\
 &= 570,2 \text{ Tanda (-) menandakan kenaikan} \\
 \% \text{Removal} &= -2\% \\
 \text{Massa Removal} &= \% \text{Removal} \times \text{Massa in} \\
 &= -2\% \times 570,2 \text{ kg/hari} \\
 &= -12,36268332 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 570,2 \text{ kg/hari} - (-12,4 \text{ kg/hari}) \\
 &= 582,6 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 3

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi BOD (Cbod)} &= 807,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit Resirkulasi} &= 43,2 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} + (2 \times \text{Debit Resirkulasi})) \times \text{Konsentrasi BOD} \\
 &= (634,8 + (2 \times 43,2)) \text{ m}^3/\text{hari} \times 807,8 \text{ mg/L} \times 0,001 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

	= 582,6	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 2%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in = 2% x 582,6 kg/hari = 10,85758738	
Massa Out	= Massa In - Massa removal = 582,6 kg/hari - (10,9 kg/hari) = 571,7	kg/hari

Tangki Aerasi 4

Konsentrasi BOD (Cbod)	= 792,8	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Debit Lumpur	= 1,3	
Massa in	= (Debit-Debit lumpur) x Konsentrasi BOD = (634,8-1,3) m3/hari x 792,8 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 502,3	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 92%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in = 92% x 502,3 kg/hari = 463,7080503	
Massa Out	= Massa In - Massa removal = 502,3 kg/hari - (463,7 kg/hari) = 38,5	kg/hari

Bak Kontrol

Konsentrasi BOD (Cbod)	= 60,8	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Debit Lumpur	= 1,3	

Massa in	=	(Debit-Debit lumpur) x Konsentrasi BOD	
	=	(634,8-1,3) m ³ /hari x 60,8 mg/L x 0,001	kg/hari
	=	38,5	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	=	2%	
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	
	=	2% x 38,5 kg/hari	
	=	0,834976177	
Massa Out	=	Massa In - Massa removal	
	=	38,5 kg/hari - (0,8 kg/hari)	
	=		37,7 kg/hari

I.3. Perhitungan COD

Bak Equalisasi

Konsentrasi COD (Ccod)	=	1416,0	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Massa Out	=	Debit x Konsentrasi BOD	
	=	635 m ³ /hari x 1416 mg/L x 0,001	
	=	898,9	kg/hari

Tangki Aerasi 1

Konsentrasi COD (Ccod)	=	1416,0	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Debit Resirkulasi	=	43,2	
Massa in	=	(Debit + Debit Resirkulasi) x Konsentrasi COD	

$$\begin{aligned}
 &= (634,8 + 43,2) \text{ m}^3/\text{hari} \times 1416,0 \text{ mg/L} \times 0,001 && \text{kg/hari} \\
 &= 960,0 && \text{Tanda (-) menandakan kenaikan} \\
 \% \text{Removal} &= -34\% \\
 \text{Massa Removal} &= \% \text{Removal} \times \text{Massa in} \\
 &= -34\% \times 960,0 \text{ kg/hari} \\
 &= -329,2765363 \\
 &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 \text{Massa Out} &= 960,0 \text{ kg/hari} - (-329,3 \text{ kg/hari}) \\
 &= 1289,3 && \text{kg/hari}
 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 2

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi COD (Ccod)} &= 1901,7 && \text{mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 && \text{m}^3/\text{hari} \\
 \text{Debit Resirkulasi} &= 43,2 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} + (2 \times \text{Debit Resirkulasi})) \times \text{Konsentrasi COD} \\
 &= (634,8 + (2 \times 43,2)) \text{ m}^3/\text{hari} \times 1901,7 \text{ mg/L} \times 0,001 && \text{kg/hari} \\
 &= 1371,5 && \text{Tanda (-) menandakan kenaikan} \\
 \% \text{Removal} &= 5\% \\
 \text{Massa Removal} &= \% \text{Removal} \times \text{Massa in} \\
 &= 5\% \times 1371,5 \text{ kg/hari} \\
 &= 63,80246238 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 1371,5 \text{ kg/hari} - (63,8 \text{ kg/hari}) \\
 &= 1307,7 && \text{kg/hari}
 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 3

Konsentrasi COD (Ccod)	= 1813,2	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Debit Resirkulasi	= 43,2	
Massa in	= (Debit + (2 x Debit Resirkulasi) x Konsentrasi COD	
	= (634,8 + (2 x 43,2)) m3/hari x 1813,2 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 1307,7	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 1%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 1% x 1307,7 kg/hari	
	= 9,600579413	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 1307,7 kg/hari - (9,6 kg/hari)	
	= 1298,1	kg/hari

Tangki Aerasi 4

Konsentrasi COD (Ccod)	= 1799,9	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m3/hari
Debit Lumpur	= 1,3	
Massa in	= (Debit-Debit lumpur) x Konsentrasi COD	
	= (634,8-1,3) m3/hari x 1799,9 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 1140,3	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 87%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 87% x 1140,3 kg/hari	
	= 987,4614289	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 1140,3 kg/hari - (987,5 kg/hari)	

$$= 152,8 \quad \text{kg/hari}$$

Bak Kontrol

Konsentrasi COD (Ccod)	=	241,2	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Debit Lumpur	=	1,3	
Massa in	=	(Debit-Debit lumpur) x Konsentrasi COD	
	=	(634,8-1,3) m ³ /hari x 241,2 mg/L x 0,001	kg/hari
	=	152,8	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	=	15%	
Massa Removal	=	%Removal x Massa in	
	=	15% x 152,8 kg/hari	
	=	23,5263543	
Massa Out	=	Massa In - Massa removal	
	=	152,8 kg/hari - (23,5 kg/hari)	
	=	129,3	kg/hari

I.4. Perhitungan NH₃-N

Bak Equalisasi

Konsentrasi NH ₃ -N (Cnh ₃ -n)	=	63,5	mg/L
Debit rata-rata (Q)	=	634,8	m ³ /hari
Massa Out	=	Debit x Konsentrasi TSS	
	=	635 m ³ /hari x 63,5 mg/L x 0,001	
	=	40,3	kg/hari

Tangki Aerasi 1

Konsentrasi NH ₃ -N (Cnh ₃ -n)	= 63,5	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m ³ /hari
Debit Resirkulasi	= 43,2	
Massa in	= (Debit + Debit Resirkulasi) x Konsentrasi TSS	
	= (634,8+ 43,2) m ³ /hari x 63,5	kg/hari
	= 43,1	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 44%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 44% x 43,1 kg/hari	
	= 19,09080783	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 43,1 kg/hari - (19,1 kg/hari)	
	= 24,0	kg/hari

Tangki Aerasi 2

Konsentrasi NH ₃ -N (Cnh ₃ -n)	= 35,4	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m ³ /hari
Debit Resirkulasi	= 43,2	
Massa in	= (Debit + (2 x Debit Resirkulasi) x Konsentrasi NH ₃ -N	
	= (634,8 + (2 x 43,2)) m ³ /hari x 35,4 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 25,5	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 34%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 34% x 25,5 kg/hari	
	= 8,773383506	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 25,5 kg/hari - (8,8 kg/hari)	
	= 16,7	kg/hari

Tangki Aerasi 3

Konsentrasi NH ₃ -N (Cnh ₃ -n)	= 23,2	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m ³ /hari
Debit Resirkulasi	= 43,2	
Massa in	= (Debit + (2 x Debit Resirkulasi)) x Konsentrasi NH ₃ -N	
	= (634,8 + (2 x 43,2)) m ³ /hari x 23,2 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 16,7	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 22%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 22% x 16,7 kg/hari	
	= 3,711733484	
Massa Out	= Massa In - Massa removal	
	= 16,7 kg/hari - (3,7 kg/hari)	
	= 13,0	kg/hari

Tangki Aerasi 4

Konsentrasi NH ₃ -N (Cnh ₃ -n)	= 18,1	mg/L
Debit rata-rata (Q)	= 634,8	m ³ /hari
Debit Lumpur	= 1,3	
Massa in	= (Debit-Debit lumpur) x Konsentrasi NH ₃ -N	
	= (634,8-1,3) m ³ /hari x 18,1 mg/L x 0,001	kg/hari
	= 11,4	Tanda (-) menandakan kenaikan
%Removal	= 29%	
Massa Removal	= %Removal x Massa in	
	= 29% x 11,4 kg/hari	

$$\begin{aligned}
 &= 3,359280865 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 11,4 \text{ kg/hari} - (3,4 \text{ kg/hari}) \\
 &= 8,1 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Bak Kontrol

$$\begin{aligned}
 \text{Konsentrasi NH}_3\text{-N (Cnh}_3\text{-n)} &= 12,8 \text{ mg/L} \\
 \text{Debit rata-rata (Q)} &= 634,8 \text{ m}^3\text{/hari} \\
 \text{Debit Lumpur} &= 1,3 \\
 \text{Massa in} &= (\text{Debit} - \text{Debit lumpur}) \times \text{Konsentrasi NH}_3\text{-N} \\
 &= (634,8 - 1,3) \text{ m}^3\text{/hari} \times 12,8 \text{ mg/L} \times 0,001 \\
 &= 8,1 \text{ kg/hari} \\
 &\text{Tanda (-) menandakan kenaikan} \\
 \% \text{Removal} &= -13\% \\
 \text{Massa Removal} &= \% \text{Removal} \times \text{Massa in} \\
 &= -13\% \times 8,1 \text{ kg/hari} \\
 &= -1,013410039 \\
 \text{Massa Out} &= \text{Massa In} - \text{Massa removal} \\
 &= 8,1 \text{ kg/hari} - (-1,0 \text{ kg/hari}) \\
 &= 9,1 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

Berikut adalah diagram alir dari mass balance IPAL PT X yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN B

Perhitungan Variabel Kontrol

II.1. Perhitungan Beban BOD (Beban BOD)

Diketahui

Debit Rata-rata (Q) : 634,8 m³/hari

Tangki Aerasi 1

$$\begin{aligned} \text{BOD Load} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + 43,2 \text{ m}^3) \times 578,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{396,8 \text{ m}^3} \\ &= 0,93 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 2

$$\begin{aligned} \text{BOD Load} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + (2 \times 43,2 \text{ m}^3)) \times 790,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{396,8 \text{ m}^3} \\ &= 1,35 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 3

$$\begin{aligned} \text{BOD Load} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + (2 \times 43,2 \text{ m}^3)) \times 807,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{595,2 \text{ m}^3} \\ &= 0,98 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari} \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 4

$$\begin{aligned} \text{BOD Load} &= \frac{Q \times S_o}{\text{Volume}} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 - 1,3 \text{ m}^3) \times 792,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{558 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$= 1,02 \text{ kg BOD/m}^3 \cdot \text{hari}$$

II.2. Perhitungan Rasio F/M (F/M ratio)

Diketahui

Debit Rata-rata (Q) : 634,8 m³/hari

Tangki Aerasi 1

$$\begin{aligned} \text{F/M} &= \frac{Q \times S_0}{0,75 \times MLSS} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + 43,2 \text{ m}^3) \times 578,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{0,75 \times 1798 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001} \\ &= 0,73 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 2

$$\begin{aligned} \text{F/M} &= \frac{Q \times S_0}{0,75 \times MLSS} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + (2 \times 43,2 \text{ m}^3)) \times 790,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{0,75 \times 1798 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001} \\ &= 1,07 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 3

$$\begin{aligned} \text{F/M} &= \frac{Q \times S_0}{0,75 \times MLSS} \\ &= \frac{(634,8 \text{ m}^3 + (2 \times 43,2 \text{ m}^3)) \times 807,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{0,75 \times 1798 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001} \\ &= 0,76 \end{aligned}$$

Tangki Aerasi 4

$$\text{F/M} = \frac{Q \times S_0}{0,75 \times MLSS}$$

$$= \frac{(634,8 \text{ m}^3 - 1,3 \text{ m}^3) \times 792,8 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}{0,75 \times 1798 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 0,001}$$

$$= 0,76$$

II.3. Perhitungan Umur Lumpur (SRT)

Diketahui:

TSS Inff (AT 4) = 1835,2 mg/L
 TSS Eff (AT 4) = 35,3 mg/L
 MLSS (X) = 1798,0 mg/L
 Resirkulasi = 0,07
 Q in = 634,8 m³/hari
 Q R = 43,2 m³/hari

Dicari

Produksi lumpur TSS = (Q_{in}.TSS_{inff}) – (Q_{out}.TSS_{eff})
 = ((634,8 + (2 x 43,2)) x 1835,2 x 10⁻³)
 – (634,8 x 35,3 x 10⁻³)
 = 1301,24 kg/hari

Diketahui

%solid = 2%
 %air = 98%
 Berat Jenis solid = 2,65 kg/L
 Berat Jenis air = 1,00 kg/L

Dicari

Berat Jenis Lumpur = $\frac{(\%Solid \cdot \rho_{solid}) + (\%air \cdot \rho_{air})}{(100\%)}$
 = $\frac{(2\% \cdot 2,65) + (98\% \cdot 1,00)}{(100\%)}$

$$= 1,033 \text{ kg/L}$$

$$= 1033 \text{ kg/m}^3$$

Dicari

$$\text{Debit Lumpur} = \frac{\text{Produksi lumpur ss}}{\text{Densitas Lumpur}}$$

$$= \frac{1301,24 \text{ kg/hari}}{1033 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 1,3 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Diketahui

$$\text{Debit Effluen} = \text{Debit influen} - \text{Debit lumpur}$$

$$= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} - 1,3 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 633,5 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dicari

$$X_r = \frac{X + X.R}{R}$$

$$= \frac{1,798 \text{ kg/m}^3 + (1,798 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 0,07)}{0,07}$$

$$= 28,219 \text{ kg/m}^3$$

$X_r = X_w$

Maka SRT/umur lumpur

$$\text{SRT} = \frac{MLSS \times V}{(TSS_{ef} \times Q_{ef}) + (X_w \cdot Q_w)}$$

$$= \frac{1,798 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1388,8 \text{ m}^3}{(35,3 \times 10^{-3} \times 633,5 \text{ m}^3/\text{hari}) + (28,219 \times 10^{-3} \times 1,3 \text{ m}^3/\text{hari})}$$

$$= 43,1 \text{ hari}$$

II.4. Perhitungan Kebutuhan Oksigen

Perhitungan Kondisi Eksisting

$$Y = 0,6$$

$$K_d = 0,06$$

$$Y_n = 0,15$$

$$K_{dn} = 0,12$$

$$Q_{in} = 634,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Beban

$$\text{BOD in (AT1)} = 367,3 \text{ kg/hari}$$

Beban

$$\text{BOD out (AT4)} = 38,55 \text{ kg/hari}$$

Beban

$$\text{NH}_3\text{-N in (AT1)} = 40,3 \text{ kg/hari}$$

Beban

$$\text{NH}_3\text{-N out (AT4)} = 3,2 \text{ kg/hari}$$

Dicari

$$\begin{aligned} Y_{obs} &= \frac{Y}{1+(Kd \times SRT)} \\ &= \frac{0,6}{1+(0,06 \times 43,1)} \\ &= 0,167 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{xBio} &= Y_{obs} \times (\text{BOD}_{in} - \text{BOD}_{out}) \\ &= 0,167 \times (367,3 \text{ kg/hari} - 38,55 \text{ kg/hari}) \\ &= 54,963 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{xNitrifikasi} &= \frac{Y_n \times (\text{NH}_3\text{-N}_{in} - \text{NH}_3\text{-N}_{out})}{1+(Kdn \times SRT)} \\ &= \frac{0,15 \times (40,3 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} - 3,1 \frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{1+(0,12 \times 43,14 \text{ hari})} \\ &= 0,8 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa N sisa} &= (\text{NH}_3\text{-N}_{in}) - (\text{NH}_3\text{-N}_{out}) - \left(\frac{0,12 \times P_x}{Q} \right) \\ &= 0,0635 \text{ kg/m}^3 - 0,0128 \text{ kg/m}^3 \\ &\quad - \left(\frac{0,12 \times (54,963 + 0,8) \text{ kg/hari}}{634,8 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \right) \\ &= 0,04 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_x(\text{Bio+Nitr}) &= P_{xBio} + \left(\frac{Y_n \times (\text{NH}_3\text{-N}_{in} - \text{NH}_3\text{-N}_{out})}{1+(Kdn \times SRT)} \right) \\ &= 54,963 \text{ kg/hari} + \left(\frac{0,15 \times (0,04 \times 634,8 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}})}{1+(0,12 \times 43,14 \text{ hari})} \right) \end{aligned}$$

$$= 55,6 \text{ kg/hari}$$

Kebutuhan oksigen

$$= (\text{O}_2 \text{ untuk degradasi BOD}) - (\text{respirasi Endogenous}) + (\text{respirasi nitrifikasi})$$

$$= (\text{Beban BODin} - \text{Beban BODout}) - (1,42 \times \text{Px}) + (4,33 \times \text{NO}_x \times \text{Q})$$

$$= (367,3 \text{ kg/hari} - 38,55 \text{ kg/hari}) - (1,42 \times (55,6)) + (4,33 \times (0,04 \text{ kg/m}^3) \cdot 634,8 \text{ m}^3/\text{hari})$$

$$= 360,3 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

SOR

$$= \left(\frac{\text{Kebutuhan O}_2}{1,065 \times 1,024^{T-20}} \right)$$

$$= \frac{360,3 \text{ kg/hari}}{1,065 \times 1,024^{30-20}}$$

$$= 266,9 \text{ kg/hari}$$

Qudara

$$= \frac{\text{SOR}}{1,3 \times 0,21}$$

$$= \frac{266,9}{1,3 \times 0,21}$$

$$= 977,8 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Effisiensi Diffuser

$$= 8\%$$

Qudara Teoritis

$$= \frac{\text{Qudara aktual}}{\text{effisiensi diffuser}}$$

$$= \frac{977,8 \text{ m}^3/\text{hari}}{8\%}$$

$$= 12223 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Faktor keamanan

$$= 1,5$$

Qudara teoritis

$$= 12223 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5$$

$$= 18334 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 763,9 \text{ m}^3/\text{jam} \text{ (Kondisi Eksisting)}$$

Perhitungan Kondisi Ideal

Diketahui

$$Y = 0,6$$

$$\begin{aligned}
Kd &= 0,06 \\
Yn &= 0,15 \\
Kdn &= 0,12 \\
Qin &= 634,8 \text{ m}^3/\text{hari} \\
\text{Beban BOD in (AT1)} &= 367,3 \text{ kg/hari} \\
\text{Beban BOD out (AT4)} &= 38,55 \text{ kg/hari} \\
\text{Beban NH}_3\text{-N in (AT1)} &= 40,3 \text{ kg/hari} \\
\text{Beban NH}_3\text{-N out (AT4)} &= 3,2 \text{ kg/hari} \\
\text{Dicari} & \\
Y_{obs} &= \frac{Y}{1+(Kd \times SRT)} \\
&= \frac{0,6}{1+(0,06 \times 43,1)} \\
&= 0,167 \\
P_{xBio} &= Y_{obs} \times (\text{BOD}_{in} - \text{BOD}_{out}) \\
&= 0,167 \times (367,3 \text{ kg/hari} - 38,55 \text{ kg/hari}) \\
&= 54,963 \text{ kg/hari} \\
P_{xNitrifikasi} &= \frac{Yn \times (\text{NH}_3\text{-N}_{in} - \text{NH}_3\text{-N}_{out})}{1+(Kdn \times SRT)} \\
&= \frac{0,15 \times (40,3 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} - 3,2 \frac{\text{kg}}{\text{hari}})}{1+(0,12 \times 43,14 \text{ hari})} \\
&= 0,9 \text{ kg/hari} \\
\text{Massa N sisa} &= (\text{NH}_3\text{-N}_{in}) - (\text{NH}_3\text{-N}_{out}) - \left(\frac{0,12 \times P_x}{Q} \right) \\
&= 0,0635 \text{ kg/m}^3 - 0,005 \text{ kg/m}^3 \\
&\quad - \left(\frac{0,12 \times (54,963 + 0,9) \text{ kg/hari}}{634,8 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}}} \right) \\
&= 0,05 \text{ kg/m}^3 \\
P_{x(\text{Bio+Nitr})} &= P_{xBio} + \left(\frac{Yn \times (\text{NH}_3\text{-N}_{in} - \text{NH}_3\text{-N}_{out})}{1+(Kdn \times SRT)} \right)
\end{aligned}$$

$$= 54,963 \text{ kg/hari} + \left(\frac{0,15 \times (0,05 \times 634,8 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}})}{1 + (0,12 \times 43,14 \text{ hari})} \right)$$

$$= 55,7 \text{ kg/hari}$$

Kebutuhan oksigen

$$= (\text{O}_2 \text{ untuk degradasi BOD}) - (\text{respirasi Endogenous}) + (\text{respirasi nitrifikasi})$$

$$= (\text{Beban BODin} - \text{Beban BODout}) - (1,42 \times \text{Px}) + (4,33 \times \text{NO}_x \times \text{Q})$$

$$= (367,3 \text{ kg/hari} - 38,55 \text{ kg/hari}) - (1,42 \cdot (55,7)) + (4,33 \cdot (0,05 \text{ kg/m}^3) \cdot 634,8 \text{ m}^3/\text{hari})$$

$$= 381,5 \text{ kg O}_2/\text{hari}$$

SOR

$$= \left(\frac{\text{Kebutuhan O}_2}{1,065 \times 1,024^{T-20}} \right)$$

$$= \frac{381,5 \text{ kg/hari}}{1,065 \times 1,024^{30-20}}$$

$$= 282,6 \text{ kg/hari}$$

Qudara

$$= \frac{\text{SOR}}{1,3 \times 0,21}$$

$$= \frac{282,6}{1,3 \times 0,21}$$

$$= 1035,01$$

Effisiensi Diffuser

$$= 8\%$$

Qudara Teoritis

$$= \frac{\text{Qudara aktual}}{\text{effisiensi diffuser}}$$

$$= \frac{1035,01 \text{ m}^3/\text{hari}}{8\%}$$

$$= 12938 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Faktor keamanan

$$= 1,5$$

Qudara teoritis

$$= 12938 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1,5$$

$$= 19406 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 808,6 \text{ m}^3/\text{jam} \text{ (Kondisi Ideal)}$$

Diketahui diffuser yang dipakai memiliki kemampuan transfer udara sebesar 3 m³/jam maka

$$\begin{aligned}\text{Jumlah Diffuser} &= \frac{\text{Qudara teoritis}}{\text{Kecepatan Transfer}} = \frac{808,6 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}}}{3 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 270 \text{ buah}\end{aligned}$$

Jadi kebutuhan diffuser untuk memenuhi kebutuhan O₂ untuk proses degradasi BOD dan nitrifikasi idealnya adalah 270 buah.

II.5. Perhitungan SVI (*Sludge Volume Indeks*)

Diketahui

Volume Lumpur Tangki Aerasi (outlet) yang mengendap pada menit ke-30 adalah sebesar 700 mL. Dengan MLSS sebesar 1798,045 mg/L. Maka SVI nya adalah:

$$\begin{aligned}\text{SVI} &= \frac{\text{Volume lumpur setelah 30 menit (mL)} \times 1000}{\text{MLSS (mg/L)}} \\ &= \frac{700 \text{ mL} \times 10^3}{1798,045 \text{ mg/L}} \\ &= 389,3\end{aligned}$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN C

Data Debit Air Limbah

III.1. Data debit air limbah dari proses produksi

Tanggal	Debit Rata-Rata (m ³ /hari)
01-Mar	782
02-Mar	771
03-Mar	248
06-Mar	845
07-Mar	710
08-Mar	827
09-Mar	1030
10-Mar	725
14-Mar	725

Sumber: Proses Produksi

III.2. Data debit air limbah dari sampling

Q sampling 1 Tanggal 11 Maret 2019	585,4
Q sampling 2 Tanggal 18 Maret 2019	607,8
Q sampling 3 Tanggal 25 Maret 2019	603,8

III.3. Data debit air limbah rata-rata

Q air limbah dari rekap proses produksi	742,25
Q air limbah sampling 1 Tanggal 11 Maret 2019	585,4

Q air limbah sampling 2 Tanggal 18 Maret 2019	607,8
Q air limbah sampling 3 Tanggal 25 Maret 2019	603,75
Q rata-rata	634,8

LAMPIRAN D

Perhitungan Analisis Beban Kerja

IV.4. Perhitungan Beban Kerja

Diketahui :

Kegiatan dari operator IPAL adalah:

1. menyalakan pompa inlet
2. mengatur pompa disaat jam puncak atau jam minim

Beban kerja masing-masing adalah:

1. 2 pompa/hari
2. 2 pompa/hari

Standar kemampuan rata-rata manusia dalam menyelesaikannya:

1. 1 menit/pompa
2. 1 menit/pompa

Maka, total waktu kerja yang dibutuhkan adalah

1. Menyalakan pompa inlet
Total waktu = beban kerja x Standar kemampuan
= 2 pompa/hari x 1 menit/pompa
= 2 menit/hari
2. Mengatur pompa disaat jam puncak atau jam minim
Total waktu = beban kerja x Standar kemampuan
= 2 pompa/hari x 1 menit/pompa
= 2 menit/hari

Maka total waktu yang dibutuhkan untuk pekerjaan operator IPAL adalah

Total waktu pekerjaan = Total waktu kegiatan 1 + Total waktu kegiatan 2

$$\begin{aligned} &= 2 \text{ menit/hari} + 2 \text{ menit/harri} \\ &= 4 \text{ menit/hari} \end{aligned}$$

Untuk menentukan total pekerja yang dibutuhkan, dibutuhkan waktu kerja efektif (Tanpa Waktu Istirahat) yang diketahui.

Apabila waktu kerja efektif yang didesain adalah 6 jam/hari maka total pekerja yang dibutuhkan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Total Pekerja} &= \frac{\text{Total Waktu Pekerjaan}}{\text{waktu kerja efektif}} \\ &= \frac{4 \text{ menit}}{6 \text{ jam} \times 60 \text{ menit}} \\ &= 0,01 \sim \text{dibulatkan menjadi } 1 \text{ karena minimal} \\ &\text{pekerja yang dibutuhkan adalah } 1 \text{ orang.} \end{aligned}$$

Berikut adalah Tabel perhitungan lengkapnya

No	Uraian Kegiatan	Beban Kerja	Standar Kemampuan rata-rata/orang	Total Waktu Kerja (menit)
1	Menyalakan pompa inlet	2 Pompa/Hari	1 menit/pompa	2
2	mengatur pompa saat dijam puncak atau jam minim	2 Pompa/Hari	1 menit/pompa	2
3	Memantau proses pengolahan air limbah dari bak 1- bak 4	8 bak/Hari	60 menit/bak	480
4	Memindahkan air limbah dari bak ke 4 ke bak kontrol untuk dibuang dengan pompa	2 bak/Hari	60 menit/bak	120

No	Uraian Kegiatan	Beban Kerja	Standar Kemampuan rata-rata/orang	Total Waktu Kerja (menit)
5	Memindahkan lumpur endapan ke bak aerasi 5 (IPLT)	1 m3/Hari	15 menit/m3	15
Total Waktu Kerja (menit)				619
Waktu Kerja Efektif (Jam)				6
Total Kebutuhan Pegawai				2

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN E

Kuesioner Sumber Daya Manusia

Nama :
Usia :
Pengalaman
Kerja :
Pendidikan
Terakhir :

1. Pernahkah ikut pelatihan?

2. Jika Ya, Pelatihan apa saja yang pernah diikuti?
 - 1.
 - 2.
 - 3.
 - 4.

3. Apakah bapak tahu parameter pencemar air limbah? jika ya apa saja?

4. Apa gunanya aerasi dalam air limbah?

5. Jika air limbah tidak sesuai baku mutu, hal apa yang dilakukan?

6. Apakah bapak mengerti yang menjadi faktor terpenting dalam pengolahan air limbah dengan IPAL bapak? Jika ya apa saja faktornya?

7. Jika lumpur di bak sedimentasi sulit untuk mengendap, hal apa yang biasanya dilakukan?

Kuesioner Analisis Beban Kerja

Berikut adalah kuesioner untuk perhitungan analisis beban kerja. Analisis beban kerja dibutuhkan untuk menentukan kebutuhan pegawai yang dibutuhkan dalam kesuksesan suatu penyelesaian pekerjaan. Dalam kuesioner ini diharapkan bapak/ibu mengisi form yang telah disediakan dengan ketentuan sebagai berikut:

- 1 Untuk kolom pertama yang bertuliskan "Uraian Kegiatan", bapak/ibu dapat menuliskan tugas dari pekerja dalam divisi ini
- 2 Untuk kolom kedua yang bertuliskan "Beban Kerja", bapak/ibu dapat menuliskan dalam sehari berapakah objek tugas yang harus bisa diselesaikan
- 3 Untuk kolom ketiga yang bertuliskan "Standar Kemampuan Rata-rata", bapak/ibu dapat menuliskan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas tersebut

Berikut adalah contoh pengisian form kuesioner:

Diketahui dalam divisi analisa laboratorium terdiri dari berbagai macam kegiatan seperti mengambil sampel di IPAL, menganalisis kandungan COD sampel, mencuci peralatan lab. Lalu beban kerja yang dibutuhkan berturut-turut adalah 8 sampel/hari, 8 sampel/hari, dan 20 alat/hari. Kemudian untuk standar kemampuan rata-ratanya berturut-turut adalah 10 menit/sampel, 60 menit/sampel, dan 1 menit/alat. Berdasarkan

No.	Uraian Kegiatan	Beban Kerja	Standar Kemampuan Rata-rata (menit/satuan objek kerja)

Kuesioner Data Proses Pengolahan Air Limbah

- 1 Kegiatan produksi apa saja yang menghasilkan air limbah?

- 2 Kapan dimulainya dan diakhirinya kegiatan produksi tersebut dalam sehari

- 3 Apakah waktu pengolahan IPAL disini mengolah hanya ketika ada kegiatan produksi saja?

Ya

Tidak

- 4 Apakah IPAL disini berjalan selama 24 jam?

Ya

Tidak

- 5 Jika tidak, maka berapa lamakah IPAL ini berjalan dalam periode 1 hari kegiatan produksi?

- 6 Di PT X ini, berapakah unit proses pengolahan air limbah yang digunakan? (yang masih aktif)

- 7 Bagaimana tahapan air limbah di PT X diolah?

- 8 Berapa lama Waktu detensi/ waktu tinggal dari tiap unit untuk mengolah air limbah?

Unit	Waktu Detensi

- 9 Berapakah dimensi tiap unit proses pengolah air limbah?

Unit	Dimensi (m)

LAMPIRAN F
DOKUMENTASI PENELITIAN



Sampling air limbah PT X



Pengukuran pH air limbah



Analisis TSS dan MLSS



Analisis MLVSS



Analisis COD



Analisis Amonia-nitrogen



Analisis BOD₅

PROSEDUR ANALISIS AIR LIMBAH

Pengujian COD pada Air Limbah

Mencuci *Culture Tube* (16 x 100 mm) dan Penutupnya dengan H₂SO₄ 20%

Menyiapkan volume sampel sebanyak 2,5 mL; *digestion solution* 1,5 mL; *acid reagent* 2,5 mL

Menempatkan sampel dalam *Culture tube* dan menambahkan *digestion solution*

Menambahkan *Sulfuric Acid Reagent* kedalam *Culture tube*

Menghomogenkan larutan dalam *Culture Tube* dengan membolak-balikkan beberapa kali

Mereflux sampel, *digestion solution*, dan *acid reagent* (dalam *Culture Tube*) di block digester selama 2 jam dengan suhu 150 °C

Mendinginkan *Culture Tube* dengan perlahan-lahan, menambahkan ferroin

Mentitrasi dengan larutan FAS 0,05 N sampai warna menjadi merah bata

Pengujian BOD pada Air Limbah

Menyiapkan labu ukur 100 mL, 200 mL, dan 1000 mL

Mengencerkan larutan sampel sesuai dengan karakteristik jenis air limbahnya

Ketentuan pengenceran dapat disesuaikan dengan faktor pengenceran pada Tabel berikut

Jenis contoh uji	Jumlah contoh uji (%)	Faktor pengenceran
Limbah industri yang sangat pekat	0,01 – 1,0	10000 - 100
Limbah yang diendapkan	1,0 – 5,0	100 - 20
Efluen dari proses biologi	5,0 – 25	20 - 4
Air sungai	25 -100	4 - 1

Sumber: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 21st Edition, 2005: Biochemical Oxygen Demand (5210).*

menyiapkan botol winkler

memasukkan larutan sampel yang telah diencerkan pada botol winkler sampai penuh dan meluap, kemudian ditutup

mengocok hingga homogen

meysimpan botol dengan sampel kedalam lemari inkubasi selama 5 hari

mengukur sampel yang telah diinkubasi dengan DO meter

Pengujian Ammonium pada Air Limbah

Mengencerkan sampel sampai dengan 25x

mengambil sampel 10 mL dan blanko 10 mL dan memasukanya ke dalam labu erlenmeyer

menambahkan 0,5 mL garam signet

Menambahkan 0,4 mL nessler dan dibiarkan selama 10 menit

Mengukur absorbansi sampel dengan panjang gelombang 407 nm dengan menggunakan spektrofotometer

Pengujian TSS pada Air Limbah

Mengeringkan kertas saring kedalam oven selama 1 jam dengan suhu 103-105 °C

Memasukkan kertas saring yang telah dioven ke dalam desikator selama 10 menit, kemudian timbang dengan neraca analitik

menyiapkan sampel 10 mL

membilas kertas saring dengan aquadest 3 x 10 mL, kemudian tunggu kering lalu dapat dilakukan penyaringan dengan menggunakan vaccum pump

mengeringkan kertas saring sampel dengan menggunakan oven selama 1 jam pada suhu 103-105 °C

Mendinginkan kertas saring sampel kedalam desikator selama 10 menit



Timbang dengan neraca analitik dan ulangi tahapan pengeringan pendinginan dan penimbangan hingga standar deviasii yang di dapatkan $< 0,5$ mg

BIOGRAFI PENULIS



Penulis lahir di Kota Gresik pada tanggal 26 Juli 1998, merupakan anak kedua (3 bersaudara) dari ibu Sri Hartini. Musik terutama seni olah vokal baik *classic* maupun kontemporer merupakan kegemaran yang telah dimiliki oleh penulis sejak masih belia. Adapaun Riwayat pendidikan penulis yang ia tempuh pertama kali di SDN 1 Sidokumpul Gresik pada tahun 2004–2010. Tahun 2011–2013 penulis melanjutkan sekolah pendidikan menengah pertama di SMP Negeri 1 Gresik. Kemudian pada tahun 2014-2015 penulis melanjutkan pendidikan menengah atas nya di SMAN 1 Gresik yang hanya ditempuh selama 2 tahun dikarenakan ia mengikuti program akselerasi. Selama menempuh jenjang S1, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) FTSP ITS sebagai staff divisi kewirausahaan. Selain berorganisasi di dalam departemen, penulis juga aktif berorganisasi di Unit Kegiatan Mahasiswa Paduan Suara Mahasiswa ITS sebagai staff Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa (PSDM). Selain berorganisasi di UKM PSM ITS penulis juga aktif mengikuti perlombaan paduan suara hingga meraih juara 1 lomba paduan suara UINSA tingkat Jawa-Bali, Juara 1 lomba paduan suara se-Kota Surabaya, dan pernah meraih Gold Medal dalam Festival Folklore Nusantara 2018 se Indonesia yang diadakan oleh kementerian PUPR. Selain mengemban ilmu di bangku perkuliahan sang penulis juga pernah melakukan kerja praktik di PT Pertamina Hulu Energi West Madura Offshore selama 1,5 bulan, tidak hanya itu penulis juga sedang melakukan internship di PT Ecosains Indonesia sebagai tim pengkaji lingkungan dan tim penilai proper. Harapan besar sang penulis

adalah menjadi orang yang berguna bagi sang ibu, masyarakat dan bumi pertiwi untuk menjaga kelestarian lingkungannya.