

TUGAS AKHIR - RE 184804

**KAJIAN EVALUASI KINERJA IPAM KARANGPILANG II  
KOTA SURABAYA DENGAN METODE *FAULT TREE  
ANALYSIS* (FTA)**

**CARISSA PUTRI**  
NRP 03211840000102

Dosen Pembimbing  
**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc.**  
NIP.19550128 198503 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





**TUGAS AKHIR - RE 184804**

**KAJIAN EVALUASI KINERJA IPAM KARANGPILANG II  
KOTA SURABAYA DENGAN METODE *FAULT TREE  
ANALYSIS* (FTA)**

**CARISSA PUTRI**  
NRP 03211840000102

Dosen Pembimbing  
**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**  
NIP.19550128 198503 2 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022









**FINAL PROJECT - RE 184804**

**STUDY OF EVALUATION OF PERFORMANCE IN IPAM  
KARANGPILANG II KOTA SURABAYA USING FAULT  
TREE ANALYSIS (FTA) METHOD**

**CARISSA PUTRI**  
NRP 03211840000102

Advisor  
**Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.**  
NIP. 19550128 198503 2 001

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022







## LEMBAR PENGESAHAN

### KAJIAN EVALUASI KINERJA IPAM KARANGPILANG II KOTA SURABAYA DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)

#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat  
memperoleh Sarjana Teknik pada  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **CARISSA PUTRI**  
03211840000102

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.
2. Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, M. ScEs.
3. Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.
4. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

Pembimbing

*Nieke*  
Penguji

Penguji

Penguji





## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : CARISSA PUTRI / NRP 03211840000102  
Departemen : Teknik Lingkungan  
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc. /  
NIP.1955012819855032001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)" adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui  
Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.)  
NIP. 1955012819855032001

Surabaya, Juli 2022  
Mahasiswa



(Carissa Putri)  
03211840000102

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **KAJIAN EVALUASI KINERJA IPAM KARANGPILANG II KOTA SURABAYA DENGAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS* (FTA)**

Nama Mahasiswa / NRP : Carissa Putri / 0321184000102  
Departemen : Teknik Lingkungan FT-SPK – ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

### **Abstrak**

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang II merupakan salah satu IPAM yang dikelola oleh PDAM Surya Sembada Kota Surabaya. IPAM Karangpilang II memanfaatkan air baku yang berasal dari Kali Surabaya untuk pengolahan air sehingga menghasilkan air bersih yang dibutuhkan oleh masyarakat. Namun, seiring meningkatnya pertumbuhan penduduk menyebabkan pencemaran air baik di air tanah maupun air sungai turut meningkat. Sehingga, air baku yang digunakan oleh IPAM Karangpilang II seringkali tidak memenuhi baku mutu air kelas I PP No. 22 Tahun 2021. Hal tersebut memungkinkan adanya risiko terjadinya kegagalan pada unit pengolahan IPAM Karangpilang II yang masih menggunakan sistem pengolahan konvensional. Sehingga perlu dilakukan kajian mengenai evaluasi kinerja IPAM Karangpilang II dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* untuk menganalisis risiko kegagalan yang dapat ditimbulkan.

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) metode yang digunakan untuk menganalisis suatu potensi permasalahan yang dapat berisiko terjadi kegagalan pada suatu sistem sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan masalah tersebut. Dalam metode *Fault Tree Analysis*, terdapat dua tahapan analisis yaitu tahap analisis kualitatif dan tahap analisis kuantitatif. Pada tahap analisis kualitatif didapatkan faktor risiko dari penurunan kinerja IPAM Karangpilang II berupa faktor risiko air baku, pembubuhan bahan kimia, proses pengolahan dan sistem *backwash*. Sedangkan pada tahap analisis kuantitatif dilakukan dengan melakukan perhitungan *consequence* dan *likelihood* yang menunjukkan bahwa terdapat kategori risiko pada penurunan kinerja IPAM Karangpilang II.

Hasil analisis pada kajian ini diketahui kinerja IPAM Karangpilang II mengalami ketidaksesuaian efisiensi penurunan kekeruhan pada setiap unit. Pada kualitas air produksi, diketahui telah memenuhi baku mutu dalam PERMENKES No. 492 Tahun 2010 pada parameter kekeruhan, TDS, pH dan total coliform. Namun, pada parameter sisa klor masih belum memenuhi ketentuan dalam PERMENKES No. 736 Tahun 2010. Kemudian, kategori risiko pada kajian ini diketahui yaitu *severe* pada sub faktor *clearator*, *high* pada sub faktor kualitas air baku, dosis pembubuhan, bahan kimia dan unit filter, *major* pada sub faktor prasedimentasi dan desinfeksi, *significant* pada sub faktor *backwash* dan *blower*, dan *trivial* pada kuantitas air baku dan injektor. Nilai kategori risiko terbesar terjadi pada sub faktor *clearator* dengan kategori risiko *severe* dan nilai risiko sebesar 0,61 atau 61%. Pada mitigasi penurunan kinerja IPAM Karangpilang II dilakukan pada 8 subfaktor pada kategori risiko *severe*, yaitu OFR, Td, NRe, Solenoid, Aktuator, Pompa *Submersible*, *Water Level Control*, *Tube Settler*.

**Kata Kunci:** Air Baku, Air Produksi, *Fault Tree Analysis*, IPAM, Risiko.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **STUDY OF EVALUATION OF PERFORMANCE IN IPAM KARANGPILANG II KOTA SURABAYA USING FAULT TREE ANALYSIS (FTA) METHOD**

Student Name / NRP : Carissa Putri / 03211840000102  
Department : Environmental Engineering FT-SPK - ITS  
Advisor : Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc.

### **Abstract**

IPAM Karangpilang II is one of the water treatment plant managed by PDAM Surya Sembada, Surabaya. IPAM Karangpilang II uses raw water from Kali Surabaya for water treatment to produce clean water needed by the community. However, with increasing population growth, water pollution in both groundwater and river water also increases. Thus, the raw water used by IPAM Karangpilang II often does not qualify the water quality standards for Sungai Kelas I PP No. 22 of 2021. This allows for the risk of failure in the Karangpilang II IPAM processing unit which is still using the conventional processing system. So it is necessary to conduct a study on the performance evaluation of IPAM Karangpilang II by using the Fault Tree Analysis method to analyze the risk of failure that can be caused.

Fault Tree Analysis (FTA) method is to used to analyze a potential problem that can risk a system failure so that efforts can be made to prevent the problem. In the Fault Tree Analysis method, there are two stages of analysis, namely the qualitative analysis stage and the quantitative analysis stage. At the qualitative analysis stage, the risk factors for decreasing the performance of IPAM Karangpilang II were in the form of risk factors for raw water, affixing chemicals, processing and backwash systems. Meanwhile, at the quantitative analysis stage, it is carried out by calculating the consequence and likelihood which shows that there are risk categories in the decline in the performance of IPAM Karangpilang II.

The results of the analysis in this study revealed that the performance of IPAM Karangpilang II experienced a discrepancy in the efficiency of reducing turbidity in each unit. In terms of production water quality, it is known that it has met the quality standards in PERMENKES No. 492 of 2010 on the parameters of turbidity, TDS, pH and total coliform. However, the residual chlorine parameter still does not meet the provisions in PERMENKES No. 736 of 2010. Then, the risk categories in this study are known to be severe on the clearator sub-factor, high on the raw water quality sub-factor, affixing dose, chemicals and filter unit, major on the pre-sedimentation and disinfection sub-factor, significant on the backwash sub-factor and blower, and trivial on the quantity of raw water and injectors. The value of the largest risk category occurs in the clearator sub factor with a severe risk category and a risk value of 0.61 or 61%. Mitigating the decline in IPAM Karangpilang II performance was carried out on 8 sub-factors in the severe risk category, namely OFR, Td, NRe, Solenoid, Actuator, Submersible Pump, Water Level Control, Tube Settler.

**Key Words: Raw Water, Production Water, Fault Tree Analysis, IPAM, Risk.**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT Yang Maha Esa, atas segala berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)”** Adapun tujuan dari penulisan laporan Tugas Akhir ini adalah untuk menyelesaikan Pendidikan S1 Program Sarjana, Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulisan Laporan Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik atas dukungan, bimbingan, serta bantuan dari pihak-pihak terkait dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, dalam kesempatan baik ini, izinkan penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir. Terima kasih atas kesabaran, kesediaan, bimbingan, dan ilmu yang diberikan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini mulai dari awal hingga akhir.
2. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M. T. dan Ibu Ainul Firdatun Nisaa, S. T., M. Sc. selaku dosen pengarah. Terima kasih atas saran dan masukan yang telah diberikan selama ini.
3. Bapak Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM selaku Kepala Departemen Teknik Lingkungan.
4. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., Ph.D selaku Koordinator Tugas Akhir yang telah mengkoordinir segala hal yang berkaitan dengan tugas akhir.
5. Kedua orang tua atas doa dan dukungan moral serta material yang tidak pernah berhenti.
6. Adik perempuan penulis, Canessia yang selalu memberikan semangat dan meyakinkan penulis untuk tidak menyerah dalam penyelesaian Tugas Akhir.
7. Bapak dan Ibu Manager, Supervisor serta Karyawan IPAM Karangpilang PDAM Surya Sembada Kota Surabaya yang telah membantu, membimbing dan memfasilitasi penulis selama di IPAM Karangpilang.
8. Teman-teman TL Angkatan 2018 dan satu bimbingan tugas akhir yaitu Alya, Nineis, Herrani dan Vika yang saling berbagi informasi, membantu, dan mendukung selama pengerjaan tugas akhir, saling memberikan masukan dan dukungan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
9. Alifa, Margaret, Ifti, Fajrul, Natasya, Afaz, Elfira, Adhiola, Bonifasius, Halif, dan Vania yang telah menghibur penulis, memberikan dukungan moral, dan selalu menemani penulis.
10. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulisan laporan Tugas Akhir ini telah diusahakan semaksimal mungkin, namun sebagaimana manusia biasa tentunya masih terdapat kesalahan dan jauh dari kata sempurna. Sehingga, demi sempurnanya Tugas Akhir ini, penulis sangat mengharapkan adanya dukungan berupa saran dan kritik yang bersifat membangun, agar laporan ini dapat bermanfaat baik bagi penulis serta pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi seluruh pihak. Terima Kasih.

Surabaya, 26 Juli 2022

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Ruang Lingkup.....	2
1.5 Manfaat.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Sumber Air Baku.....	5
2.2 Klasifikasi Baku Mutu Air.....	5
2.3 Parameter Dalam Air Minum.....	5
2.3.1 Parameter Fisik.....	6
2.3.2 Parameter Kimia.....	6
2.3.3 Parameter Mikrobiologi.....	6
2.4 Proses Pengolahan Air Minum.....	7
2.4.1 Pengolahan Secara Fisik.....	7
2.4.2 Pengolahan Secara Kimia.....	7
2.5 Gambaran Umum IPAM Karangpilang II.....	8
2.5.1 Lokasi IPAM Karangpilang II.....	8
2.5.2 Unit Pengolahan IPAM Karangpilang II.....	9
2.6 Risiko.....	10
2.6.1 Perhitungan Risiko.....	10
2.6.2 Pemetaan Tingkatan Risiko.....	11
2.6.3 Manajemen Risiko.....	12
2.7 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	12
2.7.1 Analisis Kualitatif.....	13
2.7.2 Analisis Kuantitatif.....	13
2.8 Penelitian Terdahulu.....	14
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>17</b>
3.1 Deskripsi Umum.....	17
3.2 Kerangka Penelitian.....	17
3.3 Tahapan Penelitian.....	19
3.4 Ide Penelitian.....	19
3.5 Studi Literatur.....	20
3.6 Pengumpulan Data.....	20
3.7 Analisis Data dalam Metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	20
3.8 Kesimpulan dan Saran.....	21
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	<b>23</b>
4.1 Kondisi Eksisting IPAM Karangpilang II.....	23
4.2 Karakteristik Kualitas Air Baku IPAM Karangpilang II.....	27

4.3	Efisiensi Unit Pengolahan.....	31
4.3.1	Efisiensi Unit Prasedimentasi.....	31
4.3.2	Efisiensi Unit <i>Clearator</i> .....	33
4.3.3	Efisiensi Unit Filtrasi.....	34
4.4	Karakteristik Kualitas Air Produksi IPAM Karangpilang II .....	36
4.5	Penentuan Analisis Risiko .....	40
4.5.1	Identifikasi Kriteria Risiko .....	40
4.5.2	Identifikasi Risiko .....	41
4.6	Analisis Risiko dengan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA) .....	44
4.6.1	Penentuan Frekuensi dan Perhitungan Likelihood .....	44
4.6.2	Perhitungan Consequence.....	52
4.6.3	Pemetaan Risiko .....	55
4.7	Upaya Mitigasi Risiko .....	61
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>65</b>
5.1	Kesimpulan .....	65
5.2	Saran .....	65
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>67</b>
<b>LAMPIRAN A .....</b>		<b>71</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>		<b>79</b>
<b>LAMPIRAN C .....</b>		<b>89</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		<b>95</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lokasi IPAM Karangpilang.....	8
Gambar 2.2 Layout IPAM Karangpilang .....	9
Gambar 2.3 Diagram Alir Pengolahan Air Minum IPAM Karangpilang II.....	9
Gambar 2.4 Contoh Diagram Fault Tree .....	13
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian.....	17
Gambar 4.1 Diagram Alir Unit IPAM Karangpilang II .....	27
Gambar 4.2 Nilai Kekerusuhan Air Baku .....	28
Gambar 4.3 Nilai TSS Air Baku.....	29
Gambar 4.4 Nilai TDS Air Baku .....	29
Gambar 4.5 Nilai PH Air Baku .....	30
Gambar 4.6 Nilai COD Air Baku .....	30
Gambar 4.3 Nilai Total Coliform Air Baku .....	31
Gambar 4.8 Nilai Kekerusuhan Prasedimentasi.....	32
Gambar 4.9 Nilai Kekerusuhan Unit <i>Clearator</i> .....	33
Gambar 4.10 Nilai Kekerusuhan Filter .....	35
Gambar 4.11 Nilai Kekerusuhan pada Air Produksi.....	37
Gambar 4.12 Nilai TDS pada Air Produksi.....	38
Gambar 4.13 Nilai PH pada Air Produksi .....	38
Gambar 4.14 Nilai Total Coliform pada Air Produksi .....	39
Gambar 4.15 Nilai Sisa Klor pada Air Produksi .....	39
Gambar 4.16 Diagram <i>Fault Tree</i> .....	46
Gambar 4.17 Potongan Diagram <i>Fault Tree</i> Air Baku .....	47
Gambar 4.18 Potongan Diagram <i>Fault Tree</i> Faktor Pembubuhan Bahan Kimia.....	48
Gambar 4.19 Potongan Diagram <i>Fault Tree</i> Faktor Proses Pengolahan.....	50
Gambar 4.20 Potongan Diagram <i>Fault Tree</i> Faktor Sistem <i>Backwash</i> .....	52

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Parameter Wajib Kualitas Air Minum.....	5
Tabel 2.2 Kategori dan Interval Nilai Consequence.....	10
Tabel 2.3 Kategori dan Interval Nilai Likelihood .....	11
Tabel 2.4 Matriks Kategori Tingkatan Risiko .....	11
Tabel 2.5 Simbol dalam FTA .....	12
Tabel 2.6 Daftar Penelitian Terdahulu .....	14
Tabel 4.1 Baku Mutu Air Kelas II.....	27
Tabel 4.2 Karakteristik Air Baku IPAM Karangpilang II.....	27
Tabel 4.3 Efisiensi Penurunan Kekerusuhan Unit Prasedimentasi .....	32
Tabel 4.4 Efisiensi Penurunan Kekerusuhan Unit Clearator .....	33
Tabel 4.5 Efisiensi Penurunan Kekerusuhan Unit Filtrasi .....	35
Tabel 4.6 Baku Mutu Air Produksi .....	36
Tabel 4.7 Karakteristik Air Produksi IPAM Karangpilang II .....	36
Tabel 4.8 Frekuensi Proses dan Frekuensi Kejadian .....	44
Tabel 4.9 Kategori dan Interval Nilai <i>Likelihood</i> .....	44
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Air Baku .....	47
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Pembubuhan Bahan Kimia.....	48
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Proses Pengolahan.....	49
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Sistem Backwash .....	51
Tabel 4.14 Kategori dan Interval Nilai <i>Consequence</i> .....	52
Tabel 4.15 Formula dan Sumber Data setiap Faktor Risiko .....	53
Tabel 4.16 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Air Baku .....	55
Tabel 4.17 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Pembubuhan Bahan Kimia.....	56
Tabel 4.18 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Proses Pengolahan.....	56
Tabel 4.19 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Sistem <i>Backwash</i> .....	57
Tabel 4.20 Rekap Pemetaan Kategori Risiko Seluruh Faktor .....	58
Tabel 4.21 Rekap Peringkat Nilai Risiko .....	60
Tabel 4.22 Mitigasi Penurunan Kinerja IPAM Karangpilang II .....	63

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu komponen penting dalam kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Air diperlukan dalam berbagai kebutuhan pokok manusia, salah satunya yaitu air bersih. Semakin bertambahnya penduduk, maka semakin meningkat pula kebutuhan air bersih. Namun di ibu kota besar seperti Kota Surabaya, meningkatnya populasi dan kepadatan penduduk yang tinggi menyebabkan permasalahan lingkungan, seperti menurunnya kualitas air baik air tanah maupun air permukaan (Lutfhansa, 2017). Penurunan kualitas air disebabkan berbagai faktor seperti erosi tanah, limbah industri, curahan air kotor, dan *septictank* (Pemerintah Kota Surabaya, 2016). Semakin meningkatnya kegiatan manusia, maka akan semakin banyak beban pencemar yang masuk ke badan air sehingga akan mencemari badan air tersebut (Mahyudin & Prayogo, 2015).

Dalam mengatasi permasalahan tersebut, perlu adanya pengolahan air bersih yang memiliki kualitas baik. Pengolahan air merupakan suatu usaha yang dilakukan untuk memberikan perlindungan pada sumber air dengan memperbaiki mutu air hingga memenuhi baku mutu yang sesuai dengan tujuan agar dapat dipergunakan oleh masyarakat dengan aman (Utami, 2019). Pengolahan air dengan teknologi yang tepat dapat menghasilkan air bersih berkualitas dan memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan (Yunianto & Ciptomulyono, 2015). Secara umum tahapan dari proses pengolahan air terdiri dari aerasi, prasedimentasi, koagulasi-flokulasi, sedimentasi, desinfeksi dan reservoir (Narita et al., 2012).

PDAM Surya Sembada merupakan institusi penyedia air minum yang ditunjuk oleh Pemerintah Kota Surabaya untuk memenuhi kebutuhan air bersih bagi masyarakat di Kota Surabaya. Salah satu Instalasi Penjernihan Air Minum yang dikelola oleh PDAM Surya Sembada yaitu IPAM Karangpilang II, yang dibangun pada tahun 1996 dengan kapasitas 2.000 L/detik. Terjadi beberapa kali peningkatan kapasitas pada IPAM Karangpilang II, hingga pada tahun 2006 IPAM Karangpilang II meningkatkan kapasitasnya menjadi 2.750 L/detik sampai dengan saat ini.

Sebagian besar air baku yang dipasok oleh PDAM Surya Sembada berasal dari Kali Surabaya. Peningkatan populasi penduduk juga berdampak terhadap menurunnya kualitas air baku yang digunakan oleh IPAM Karangpilang disebabkan oleh meningkatnya pencemaran air. Menurut IKPLHD Kota Surabaya tahun 2018, Kali Surabaya termasuk kedalam sungai kelas II. Namun, air baku yang digunakan oleh IPAM Karangpilang sering tidak memenuhi baku mutu air sungai kelas II, bahkan pada parameter BOD seringkali tergolong kedalam baku mutu air sungai kelas IV (Rahmawati & Mulia, 2017). Kondisi yang tidak sesuai tersebut dapat disimpulkan bahwa Kali Surabaya telah mengalami pencemaran dan tidak sesuai dengan baku mutu air baku yang telah ditetapkan yaitu PP No. 22 Tahun 2021. Sementara menurut operator IPAM Karangpilang II, pergantian musim yang terjadi berpengaruh pada kualitas Kali Surabaya, terutama pada parameter kekeruhan. Menurut Rahman (2017), pengolahan air pada IPAM Karangpilang II merupakan pengolahan konvensional. Sehingga, air baku yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan kinerja dari IPAM Karangpilang II serta penurunan kualitas air produksi. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis risiko yang tepat mengenai hal tersebut.

Analisis risiko dapat dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya yaitu menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). *Fault Tree Analysis* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis suatu potensi permasalahan yang dapat berisiko terjadi kegagalan pada suatu sistem sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan masalah tersebut (Dwiano et al., 2021). *Fault Tree Analysis* menggunakan diagram pohon untuk menemukan

suatu penyebab dan efek dari kegagalan sistem yang tidak diinginkan (Trisaid, 2020). Tahapan umum dalam mengidentifikasi suatu sistem menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (Priyanta, 2000) yakni: Mendefinisikan suatu masalah dan kondisi batasan dari sistem; Pembuatan diagram *fault tree*; Melakukan identifikasi minimal *cut set* dari analisis *fault tree*; Melakukan analisis kualitatif dari *fault tree*; Melakukan analisa kuantitatif dari *fault tree*.

Manfaat dari penggunaan metode *Fault Tree Analysis* yaitu dapat menentukan faktor dan tahapan yang menjadi penyebab kegagalan dalam sistem serta dapat mengidentifikasi kemungkinan risiko terjadinya kegagalan produk atau sistem (Nugraha & Sari, 2019). Setelah mendapatkan nilai risiko dengan metode FTA, kemudian menyusun langkah mitigasi untuk mengurangi risiko penurunan kinerja IPAM Karangpilang II sehingga minimisasi akan risiko yang ditimbulkan dapat dilakukan. Oleh karena itu, berdasarkan dengan uraian diatas maka dapat dilakukan kajian penelitian dengan judul “Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II dengan Metode *Fault Tree Analysis*”

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja sistem air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya?
2. Bagaimana kualitas air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya?
3. Bagaimana risiko kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*?
4. Bagaimana upaya pengurangan risiko kinerja sistem air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kinerja sistem air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya
2. Mengidentifikasi kualitas air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya
3. Menetapkan nilai risiko kinerja sistem air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis*
4. Menentukan upaya pengurangan risiko kinerja sistem air produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya

## 1.4 Ruang Lingkup

1. Kajian dan wilayah studi pada tugas akhir ini dilakukan di IPAM Karangpilang II, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.
2. Parameter kualitas air baku yang digunakan dalam kajian penelitian di IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu: kekeruhan, TSS, TDS, pH, COD, BOD, dan total coliform sesuai dengan PP No.22 tahun 2021 serta kualitas air produksi yang digunakan yaitu: TDS, kekeruhan, total coliform, pH, dan sisa klor sesuai dengan baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per./IV/2010 tentang persyaratan kualitas air minum
3. Data yang digunakan berupa data sekunder yang berasal dari IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dan beberapa literatur terkait.
4. Data sekunder yang digunakan yaitu data rata-rata.
5. Sistem yang dikaji adalah kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya setelah kondisi penambahan kapasitas yaitu 2.750 L/s

6. Proses analisis risiko kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dilakukan dengan metode *Fault Tree Analysis* (FTA).
7. Upaya mitigasi dilakukan berdasarkan pada kategori risiko

### **1.5 Manfaat**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini adalah:

1. Mendeteksi dengan segera dalam menanggulangi kemungkinan kegagalan yang dapat terjadi
2. Memberikan masukan terkait upaya mitigasi dalam mengurangi risiko kinerja sistem IPAM Karangpilang II Kota Surabaya

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sumber Air Baku

Air baku merupakan air yang bermula dari sumber air permukaan dan air tanah yang memenuhi baku mutu tertentu sebagai air baku untuk air minum. Air sungai termasuk kedalam air permukaan yang biasanya digunakan sebagai air baku untuk air minum. Selain itu, sungai dapat berfungsi sebagai sarana transportasi, perikanan, irigasi dan yang lainnya. Aktivitas tersebut yang mengakibatkan sungai mengalami pencemaran air dan penurunan kualitas lingkungan (Humairoh, 2014).

### 2.2 Klasifikasi Baku Mutu Air

Air yang menjadi air baku untuk air minum harus memiliki kualitas mutu air yang sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Kualitas air baku air sungai dalam Lampiran IV PP 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup diklasifikasikan sebagai berikut:

- Kelas satu, merupakan air yang dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas dua, merupakan air yang dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, untuk pengairan tanaman, dan/atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas tiga, merupakan air yang dapat digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan dan untuk pengairan tanaman, dan/atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.
- Kelas empat, merupakan air yang dapat digunakan untuk pengairan tanaman dan/atau peruntukan lain yang sama dengan kegunaan tersebut.

### 2.3 Parameter Dalam Air Minum

Produksi air minum harus memenuhi syarat dari baku mutu yang telah ditetapkan. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010, Parameter wajib kualitas air minum meliputi parameter fisik, parameter kimiawi dan parameter mikrobiologi. Berikut merupakan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 yang disajikan dalam tabel 2.1

Tabel 2.1 Parameter Wajib Kualitas Air Minum

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan
<b>A</b>	<b>Parameter Mikrobiologi</b>		
	E. Coli	Jumlah per 100 mL sampel	0
	Total Bakteri Coliform	Jumlah per 100 mL sampel	0
<b>B</b>	<b>Parameter Fisik</b>		
	Bau	-	Tidak berbau
	Warna	TCU	15
	Kekeruhan	NTU	5
	Total zat padat terlarut (TDS)	Mg/L	500
	Rasa	-	Tidak berasa
	Suhu	°C	Suhu udara ± 3
<b>C</b>	<b>Parameter Kimiawi</b>		
	Alumunium	Mg/L	0,2

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diperbolehkan
	Besi	Mg/L	0,3
	Kesadahan	Mg/L	500
	Khlorida	Mg/L	250
	Mangan	Mg/L	0,4
	pH		6,5-8,5
	Seng	Mg/L	3
	Sulfat	Mg/L	250
	Tembaga	Mg/L	2
	Amonia	Mg/L	1,5

Sumber : (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2010)

### 2.3.1 Parameter Fisik

#### a. Kekeruhan

Kekeruhan dalam air sangat berhubungan dengan intensitas cahaya. Kekeruhan pada air dapat disebabkan oleh bahan organik dan anorganik seperti lumpur, plankton, dan zat halus lainnya yang terdapat didalam air (Sawyer et al., 2003).

#### b. Total Dissolved Solid (TDS)

*Total Dissolved Solid* (TDS) atau padatan terlarut merupakan padatan yang memiliki ukuran lebih kecil dari padatan yang tersuspensi seperti mineral, garam, logam serta kation-anion yang terlarut didalamnya. Jika air mengandung TDS yang tinggi, air tersebut sangat tidak baik untuk kesehatan manusia (Santoso, 2008). Selain itu, apabila air mengandung TDS yang tinggi dan tidak dikelola maka akan mengakibatkan pencemaran pada air (Kustiyaningsih & Irawanto, 2020).

### 2.3.2 Parameter Kimia

#### a. pH

pH merupakan derajat keasaman, yang menunjukkan kadar asam atau basa pada suatu larutan. pH normal memiliki nilai 7. Apabila pH menunjukkan angka 0 maka hal tersebut menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan apabila pH menunjukkan angka 14 maka menunjukkan derajat kebasaan tertinggi (Joko, 2010). pH air sebaiknya bersifat netral untuk mencegah terjadinya pelarutan logam berat dan jaringan distribusi air yang mudah korosi (Gusril, 2016).

#### b. Sisa Klor

Sebelum air bersih didistribusikan untuk pelanggan, air bersih perlu dilakukan proses desinfeksi atau proses penambahan klor untuk menghilangkan bakteri patogen. Proses klorinasi ini menyebabkan terdapatnya residu klor yaitu klor bebas dan klor terikat. Klor sering dipilih dikarenakan memiliki biaya yang murah, tidak memiliki bau dan stabil (Sofia et al., 2015).

### 2.3.3 Parameter Mikrobiologi

#### a. Total Coliform

Total Coliform suatu kelompok bakteri yang merupakan indikator keberadaan bakteri patogenik yang menjadi sinyal untuk menentukan apakah sumber air telah terkontaminasi oleh pathogen atau tidak (Maryani et al., 2014). Bakteri pathogen dalam air minum dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kolera, tipus dan

disentri (Afif et al., 2015). *Escherichia coli* merupakan bakteri dalam total coliform yang digunakan sebagai indikator kontaminasi tinja untuk keamanan air minum.

## **2.4 Proses Pengolahan Air Minum**

Proses pengolahan air dibedakan menjadi tiga yaitu pengolahan secara fisik (unit operasi), pengolahan secara kimia (unit proses) dan pengolahan secara biologis (Budiyono & Sumardiono, 2013).

### **2.4.1 Pengolahan Secara Fisik**

Proses pengolahan air secara fisik merupakan pengolahan air yang memisahkan zat padat atau pengotor pada air baku tanpa dilakukan penambahan zat kimia atau bahan lainnya (Masduqi & Assomadi, 2012).

#### **1. Penyaringan (*Screen*)**

Penyaringan (*Screen*) merupakan proses awal untuk pemisahan bahan padatan dan benda-benda kasar yang terdapat dalam air baku agar tidak terbawa ke unit pengolahan selanjutnya (Masduqi & Assomadi, 2012). *Screen* diletakkan pada intake di tempat air baku diambil. Intake merupakan bangunan pengambilan air yang terletak pada sisi sumber air baku, dengan membuat bendung dari sungai ataupun dengan pengambilan air secara langsung (penyadapan) (Silitonga & Hendry, 2018).

#### **2. Pengendapan**

Pengendapan merupakan proses pemisahan bahan padatan dengan bantuan gravitasi sehingga suatu padatan yang memiliki massa lebih berat dari air akan turun ke dasar kolam. Berdasarkan jenis partikel yang akan diendapkan, pengendapan dibagi menjadi dua macam.

- Prasedimentasi

Pengendapan di unit ini memiliki tujuan untuk mengendapkan partikel diskret atau partikel lumpur. Partikel diskret merupakan partikel yang tidak mengalami perubahan bentuk dan ukuran saat terjadi pengendapan (Masduqi & Assomadi, 2012).

- Sedimentasi

Pengendapan di unit ini memiliki tujuan untuk memisahkan padatan dan cairan dengan memanfaatkan gravitasi untuk memisahkan partikel tersuspensi yang terdapat pada cairan tersebut.

#### **3. Filtrasi**

Filtrasi merupakan proses penyaringan dengan media berpori guna menghilangkan zat padat yang tersuspensi pada air. Unit ini bertujuan untuk mengurangi kandungan bakteri, warna, rasa, bau, besi, mangan, dan alga yang masih ada dalam air (Masduqi & Assomadi, 2012). Filtrasi digolongkan menjadi dua yaitu saringan pasir cepat (*rapid sand filter*) dan saringan pasir lambat (*slow sand filter*). Unit *slow sand filter* merupakan penyaringan lambat, sekitar 0,1 – 0,4 m/jam karena ukuran media pasir yang lebih kecil (Hamimal et al., 2013). Dibandingkan unit *slow sand filter*, unit *rapid sand filter* mampu menghasilkan debit air yang lebih banyak namun kurang efektif dalam mengatasi bau dan rasa pada air (Maryani et al., 2014).

### **2.4.2 Pengolahan Secara Kimia**

#### **1. Koagulasi – Flokulasi**

Koagulasi merupakan proses pengadukan cepat sehingga bahan kimia (koagulan) yang dibubuhkan dapat bereaksi dan menggumpal agar partikel membentuk inti flok. Sementara Flokulasi merupakan proses pengadukan lambat dimana inti flok yang kecil bergabung menjadi flok besar. Tujuan pembubuhan koagulan pada proses koagulasi yaitu membantu partikel-partikel kecil yang tidak dapat mengendap dengan gravitasi, dapat saling menggumpal sehingga nantinya akan dengan mudah mengendap (Widyaningrum, 2016). Koagulan yang sering digunakan pada air yaitu kapur, kaporit dan tawas (Harmiyanti, 2018).

## 2. Desinfeksi

Desinfeksi merupakan proses pembunuhan bakteri dan virus pathogen pada air. Terdapat tiga metode desinfeksi yaitu kimiawi, fisik dan radiasi (Hadi, 2016). Pada metode desinfeksi kimiawi, air dibubuhkan dengan bahan kimia desinfektan seperti klor. Klor merupakan bahan kimia yang sering digunakan pada pengolahan air minum (Masduqi & Assomadi, 2012). Sementara pada metode desinfeksi fisik yakni dengan perlakuan fisik seperti pemanasan dan pencahayaan. Metode desinfeksi secara radiasi yakni dengan memaparkan sinar ultra violet. Faktor yang menentukan efisiensi desinfektan yaitu waktu kontak, konsentrasi desinfektan yang digunakan, temperatur, dan pH (Husada et al., 2010).

### 2.5 Gambaran Umum IPAM Karangpilang II

PDAM Surya Sembada merupakan badan usaha yang ditunjuk oleh Pemerintah Surabaya untuk melayani kebutuhan air bersih masyarakat di Kota Surabaya. Menurut IKPLHD Kota Surabaya Tahun 2018, PDAM Surya Sembada mengelola 6 Instalasi Penjernihan Air Minum (IPAM) yakni IPAM Ngagel I, IPAM Ngagel II, IPAM Ngagel III, IPAM Karangpilang I, IPAM Karangpilang II, dan IPAM Karangpilang III. Pada kajian ini, lokasi yang digunakan yaitu IPAM Karangpilang II. Daerah yang dilayani oleh IPAM Karangpilang II yaitu sebagian besar Surabaya bagian barat dan sebagian kecil dari Surabaya bagian selatan dan utara (Pemerintah Kota Surabaya, 2015).

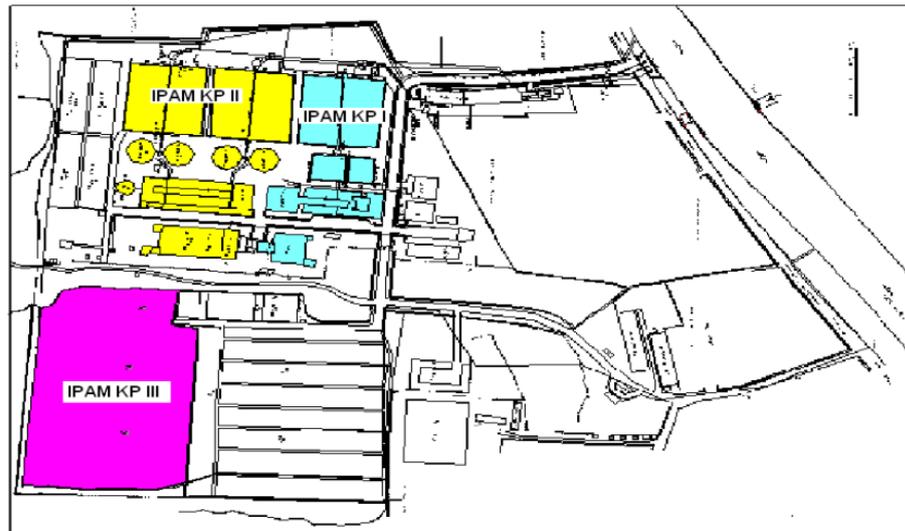
#### 2.5.1 Lokasi IPAM Karangpilang II

Secara administrasi, IPAM Karangpilang II berada di Jl. Raya Mastrip, Warugunung, Kec. Karang Pilang, Kota SBY, Jawa Timur. Lokasi dan layout dari IPAM Karangpilang dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.1 Lokasi IPAM Karangpilang

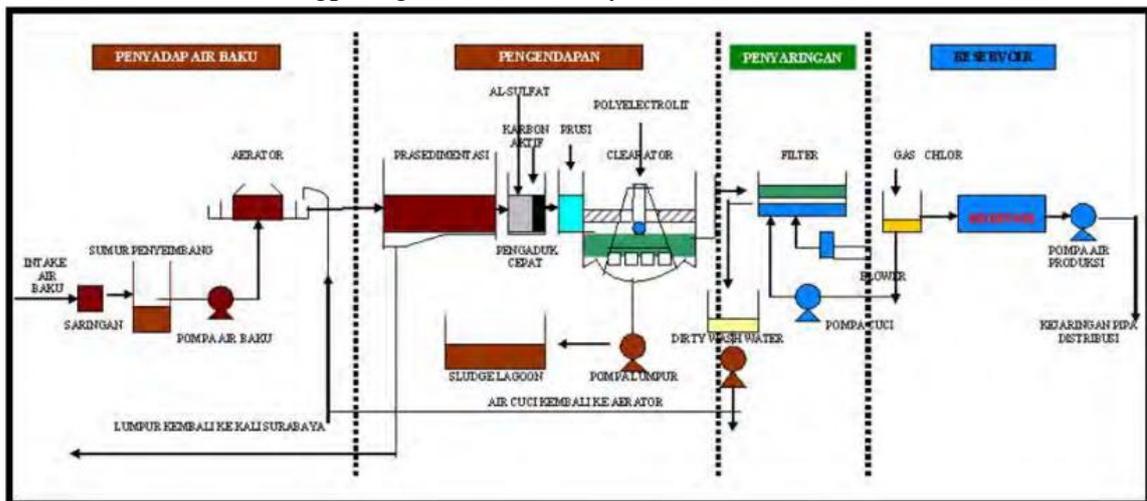
Sumber : Google Earth Pro



Gambar 2.2 Layout IPAM Karangpilang  
Sumber : (Pemerintah Kota Surabaya, 2015)

### 2.5.2 Unit Pengolahan IPAM Karangpilang II

Pengolahan air bersih merupakan usaha untuk memperbaiki baku mutu air baku hingga mencapai mutu yang telah ditetapkan. Proses pengolahan air terdiri dari tiga tahap yaitu tahap permulaan (*pre-treatment*), tahap kedua (*secondary treatment*), dan tahap lanjutan (*advanced treatment*). IPAM Karangpilang II mengolah air baku dari Kali Surabaya dengan kapasitas instalasi  $\pm 2.750$  L/detik. Gambar 2.3 berikut merupakan diagram alir dari sistem pengolahan air minum di IPAM Karangpilang II Kota Surabaya.



Gambar 2.3 Diagram Alir Pengolahan Air Minum IPAM Karangpilang II  
Sumber : (Pemerintah Kota Surabaya, 2015)

- Aerator  
Unit Aerator berfungsi untuk meningkatkan kandungan oksigen terlarut dan menurunkan kadar zat organik (Rahman, 2017). Jenis aerator di IPAM Karangpilang II adalah cascade aerator, yaitu aerator berbentuk terjunan yang berjumlah dua buah dengan diameter 8,5 m dan 1,5 m (Hizni'am et al., 2019).
- Prasedimentasi

Unit Prasedimentasi berfungsi untuk mengendapkan partikel diskrit, partikel kasar, dan lumpur tanpa menggunakan bahan kimia. Waktu tinggal di bak prasedimentasi IPAM Karangpilang II adalah 3 jam. Terdiri dari 5 unit bak prasedimentasi dengan dua kompartemen dengan panjang 80 m, lebar 15 m dan kedalaman 2,75 m (Rahman, 2017; Hizni'am, 2019).

- Clearator

Sebelum menuju unit clearator, air terlebih dahulu masuk ke unit koagulasi untuk dilakukan pengadukan cepat dengan waktu tinggal 1 menit. Dimensi dari unit koagulasi yaitu panjang 4,5 m, lebar 4 m dan kedalaman 2 m berjumlah 2 unit. Unit clearator merupakan gabungan antara flokulasi dan sedimentasi berjumlah 4 unit dengan diameter 30 m, tinggi 6,5 m dengan kapasitas masing-masing 375 L/detik (Rahman, 2017).

- Filter

Jenis filter yang digunakan pada IPAM Karangpilang II yakni tipe *Rapid sand filter* yang terdiri dari 16 unit bak persegi panjang dengan dua lapisan media filter yaitu pasir silica dan pasir antrasit. Filter berfungsi untuk mengendapkan partikel tersuspensi dari efluen unit sebelumnya (Rahman, 2017).

- Reservoir

Reservoir pada IPAM Karangpilang II memiliki kapasitas 6000 m<sup>3</sup> dengan waktu tinggal 50 menit. Sebelum air masuk kedalam reservoir, air terlebih dahulu dilakukan desinfeksi dengan menginjeksikan gas klor dengan tujuan untuk membunuh mikroorganisme patogen didalam air (Rahman, 2017; Hizni'am, 2019).

## 2.6 Risiko

Risiko merupakan suatu kemungkinan yang tidak diinginkan dari suatu kejadian yang dapat berdampak pada suatu tujuan (Government of Western Australia, 1999). Risiko dapat diartikan sebagai kemungkinan terjadinya kejadian yang dapat menimbulkan konsekuensi pada suatu tujuan baik positif maupun negatif (Anggraini, 2021). Risiko selalu dihubungkan dengan terjadinya sesuatu yang merugikan sehingga risiko akan mempunyai konsekuensi terhadap sasaran (Bastuti, 2019). Risiko diukur dengan indikator *likelihood* dan *consequence*.

### 2.6.1 Perhitungan Risiko

Perhitungan risiko dapat diukur berdasarkan hubungan antara probabilitas atau kemungkinan dan dampak yang terjadi dari suatu kegiatan (AS/ NZS 4360, 1999). Secara kuantitatif dapat dirumuskan seperti berikut.

$$Risk = Likelihood \times Consequences$$

Dimana:

*Likelihood* = Penjelasan kualitatif mengenai probabilitas suatu risiko

*Consequences* = Dampak terjadinya suatu risiko

Sehingga dapat diketahui bahwa risiko merupakan gabungan dari *likelihood* dan *consequence*. Risiko akan semakin tinggi apabila suatu kemungkinan (*likelihood*) dan dampak (*consequence*) yang terjadi tinggi, begitu pula sebaliknya. Analisis dilakukan dengan klasifikasi penilaian pada Tabel 2.2 dan 2.3

Tabel 2.2 Kategori dan Interval Nilai Consequence

Level	Kategori	Deskripsi	Rentang Nilai
1	<i>Negligible</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak mengkhawatirkan	≤10%

Level	Kategori	Deskripsi	Rentang Nilai
2	<i>Low</i>	Konsekuensi risiko kecil namun perlu dilakukan usaha penanganan mengurangi risiko yang terjadi	10 - 30%
3	<i>Medium</i>	Konsekuensi risiko sedang, maka dari itu perlu dilakukan pengelolaan berdasarkan prosedur normal	31 - 60%
4	<i>High</i>	Konsekuensi risiko relatif tinggi terhadap lingkungan, maka dari itu perlu dilakukakn pengelolaan secara intensif	61 - 80%
5	<i>Extreme</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar	≥ 80%

Sumber : Government of Western Australia (1999)

*Consequence* menunjukkan nilai dari risiko suatu kejadian terhadap lingkungan. Sementara *Likelihood* menunjukkan nilai frekuensi kejadian risiko terjadi.

Tabel 2.3 Kategori dan Interval Nilai Likelihood

Level	Deskripsi	Rentang Nilai
1	Jarang ( <i>Rare</i> )	Hampir tidak pernah terjadi dalam 5 tahun
2	Kadang-kadang ( <i>Unlikely</i> )	5 tahun sekali
3	Cukup sering ( <i>Moderate</i> )	3 tahun sekali
4	Sering ( <i>Likely</i> )	1 tahun sekali
5	Sangat sering ( <i>Very Likely</i> )	Lebih dari 1 kali/tahun

Sumber : Australia Standard Guidelines (1999)

## 2.6.2 Pemetaan Tingkatan Risiko

Setelah didapatkan nilai besaran risiko dari perhitungan kombinasi *likelihood* dan *consequence*, nilai tersebut kemudian dimasukkan kedalam matriks risiko untuk mengetahui karakteristik atau kategori tingkat risiko yang didapatkan. Tabel matriks risiko dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Matriks Kategori Tingkatan Risiko

		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Probability	Almost certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial
	Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial
	Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
	Unlike	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial

	Consequence				
	Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Sumber : Government of Western Australia (1999)

Keterangan :

- *Severe* : Risiko harus dikelola dengan detail oleh manajemen karena hampir selalu terjadi dan konsekuensi yang sangat rawan pada sistem
- *High* : Risiko memerlukan penelitian detail dan perencanaan manajemen pada tingkat senior. Konsekuensi membahayakan sistem
- *Major* : Risiko memerlukan perhatian manajemen tingkat senior, konsekuensi tidak membahayakan namun dapat memperburuk sistem
- *Significant* : Risiko memerlukan alokasi tanggung jawab manajemen yang spesifik
- *Moderate* : Risiko memerlukan pengawasan yang spesifik
- *Low* : Risiko dapat dikelola dengan prosedur operasional rutin
- *Trivial* : Risiko dapat dikelola dengan pemecahan masalah yang mudah

### 2.6.3 Manajemen Risiko

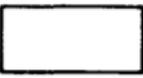
Manajemen risiko merupakan suatu pendekatan ilmiah dalam menangani risiko dengan mengantisipasi kemungkinan terjadinya kerugian dan merancang serta menerapkan proses meminimalkan kerugian finansial yang terjadi (Vaughan, 2008 dalam Rochmana, 2017). Kegiatan ini digunakan oleh perusahaan untuk mengendalikan kemungkinan risiko yang akan muncul secara terkoordinasi.

### 2.7 Fault Tree Analysis

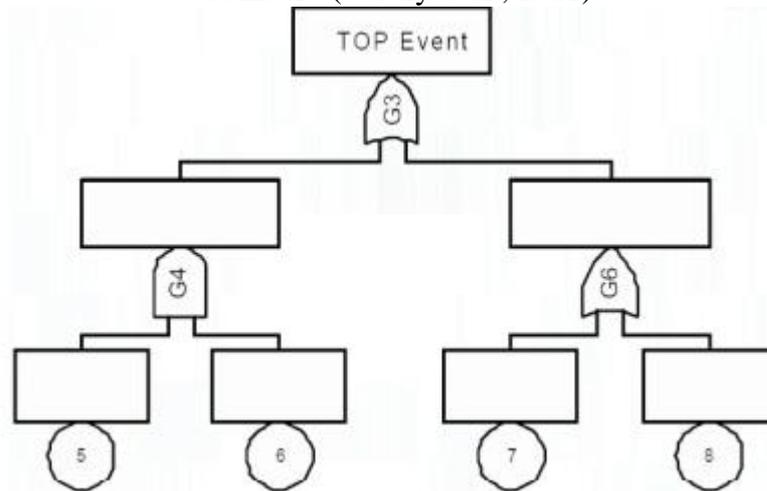
*Fault Tree Analysis* merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis suatu potensi permasalahan yang dapat berisiko terjadi kegagalan pada suatu sistem sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan masalah tersebut (Dwiano *et al.*, 2021). Metode *Fault Tree Analysis* berbentuk diagram *top-down*, yaitu dengan menentukan permasalahan di puncak hingga ditemukan akar permasalahan pada dasarnya (Nugraha & Sari, 2019). *Fault Tree Analysis* menggunakan diagram pohon untuk menemukan suatu penyebab dan efek dari kegagalan sistem yang tidak diinginkan (Trisaid, 2020). Metode ini banyak digunakan untuk studi yang berkaitan dengan risiko dalam suatu sistem *engineering* (Priyanta, 2000). Manfaat dari penggunaan metode *Fault Tree Analysis* (Nugraha & Sari, 2019) yaitu dapat menentukan faktor dan tahapan yang menjadi penyebab kegagalan dalam sistem serta dapat mengidentifikasi kemungkinan risiko terjadinya kegagalan produk atau sistem. Tahapan umum dalam mengidentifikasi suatu sistem menggunakan metode *Fault Tree Analysis* yaitu: (Priyanta, 2000)

- a. Mendefinisikan suatu masalah dan kondisi batasan dari sistem
- b. Pembuatan diagram *fault tree*
- c. Melakukan identifikasi minimal *cut set* dari analisis *fault tree*
- d. Melakukan analisis kualitatif dari *fault tree*
- e. Melakukan analisa kuantitatif dari *fault tree*

Simbol-simbol yang digunakan pada *Fault Tree Analysis* dapat dilihat pada Tabel 2.5  
Tabel 2.5 Simbol dalam FTA

Simbol	Keterangan
	<i>Basic Event</i> : Lingkaran yang menunjukkan kesalahan awal atau akar permasalahan
	<i>Intermediate Event</i> : Segiempat yang menunjukkan kesalahan akibat satu atau lebih penyebab yang melalui <i>logic gate</i>
	<i>AND</i> : <i>gate</i> yang menunjukkan gangguan <i>output</i> terjadi karena kesalahan seluruh <i>input</i>
	<i>OR</i> : <i>gate</i> yang menunjukkan gangguan <i>ouput</i> terjadi karena kesalahan salah satu atau lebih <i>input</i>

Sumber : (Vesely et al., 1981)



Gambar 2.4 Contoh Diagram Fault Tree

Sumber: Priyanta (2000)

### 2.7.1 Analisis Kualitatif

Analisis kualitatif dalam FTA merupakan analisis yang menggunakan ekspresi logika dengan variable dan simbol algebra (Suparmadja, 2015). Metode yang digunakan yakni:

- **Top to Bottom**  
Analisis ini dimulai dari kejadian puncak atau *top event* yang kemudian kebawah menuju *intermediate event* hingga mencapai *basic event* dengan menggunakan simbol *gates*.
- **Bottom Up**  
Sebaliknya, analisis ini dilakukan dari level paling bawah atau *basic event* menuju ke level paling atas atau *top event*.

### 2.7.2 Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif menggunakan nilai numerik untuk menentukan probabilitas dengan data-data yang dimiliki, karena kelengkapan dan keakuratan data sangat memengaruhi hasil

kualitas dari analisis ini (Suparmadja, 2015). Probabilitas atau *Likelihood* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P = \frac{Fp + Fk}{\sum(Fp + Fk)}$$

Dimana:

P = Probabilitas atau *Likelihood*

Fp = Frekuensi Proses

Fk = Frekuensi Kejadian

Risiko merupakan hubungan antara probabilitas dengan konsekuensi, sehingga diperlukan nilai terhadap konsekuensi untuk dapat menentukan kategori peringkat risiko. Konsekuensi atau *Consequence* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Consequence = \frac{Parameter\ IN - Parameter\ OUT}{Parameter\ IN} \times 100\%$$

Setelah dilakukan perhitungan probabilitas dan konsekuensi, kemudian nilai tersebut di masukkan ke dalam matriks risiko dan dilakukan identifikasi mengenai kategori risikonya.

## 2.8 Penelitian Terdahulu

Berikut daftar penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Tabel 2.6

Tabel 2.6 Daftar Penelitian Terdahulu

No	Peneliti	Judul	Hasil
1.	Hizni'am <i>et al.</i> (2019)	<i>Study of Karangpilang II Water Production Quality Control Using Statistical Process Control (SPC)</i>	Proses pengendalian kualitas di IPAM Karangpilang II dalam kondisi tidak terkendali pada parameter pH di unit clearator dan filter, Total Dissolved Solid (TDS) pada unit clearator, kekeruhan pada unit pra-sedimentasi, clearator dan filter dan organik dalam unit pra-sedimentasi dan filter.
2.	Anggraini (2021)	Kajian Risiko Kinerja IPAM Karangpilang I Kota Surabaya Dengan Metode <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA)	Metode analisis risiko yang digunakan pada kajian tersebut adalah <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA). <i>Fault Tree Analysis</i> dapat digunakan untuk mengetahui suatu kegagalan yang dapat mengganggu kinerja IPAM Karangpilang I. Selain itu, metode ini dapat digunakan untuk mengkategorikan risiko yang dapat terjadi sehingga dapat mempersiapkan upaya pencegahan terjadinya risiko.
3.	Rahman (2017)	Studi Peningkatan Kinerja IPAM	Hasil evaluasi ditemukan bahwa terdapat beberapa

No	Peneliti	Judul	Hasil
		Karangpilang – PDAM Surya Sembada	kejadian dimana parameter kekeruhan dan zat organik pada air produksi masih belum memenuhi standar baku mutu. Dalam pengolahan kekeruhan pada IPAM Karangpilang I, II, dan III, unit yang kinerjanya belum memuaskan adalah unit prasedimentasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

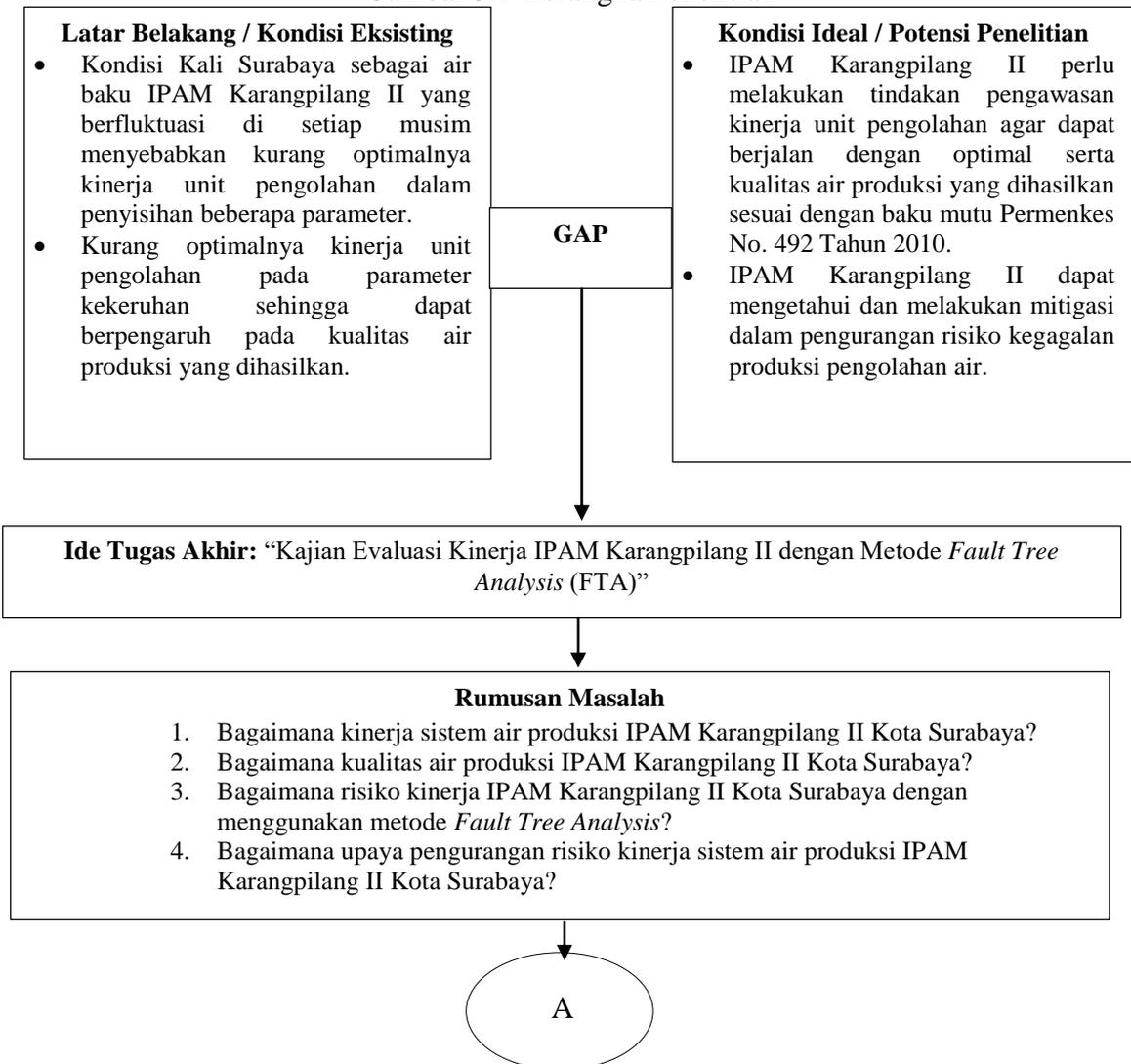
### 3.1 Deskripsi Umum

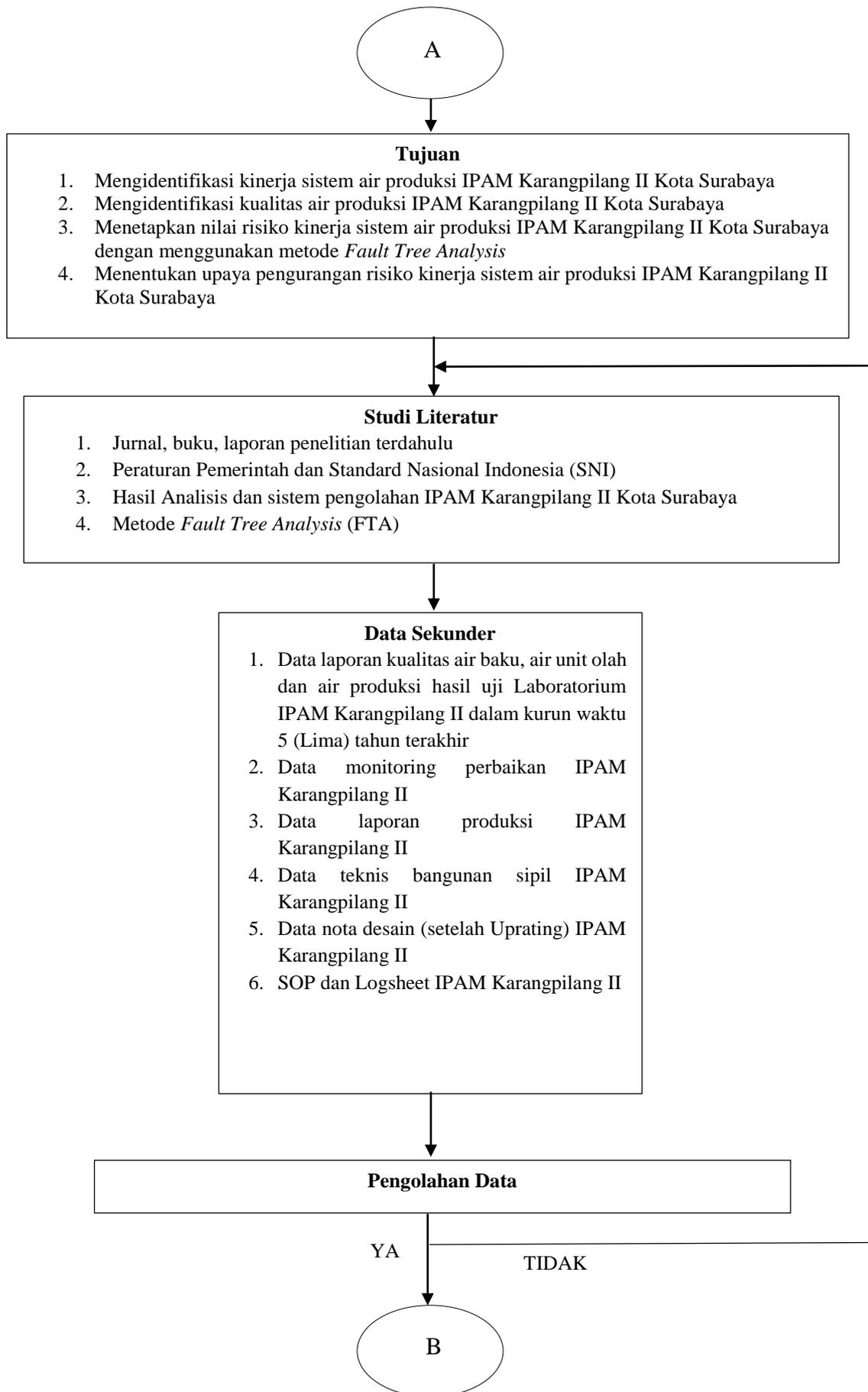
Metode penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam prosedur dan langkah-langkah sistematis dalam melakukan kajian penelitian. Adapun tujuan dari kajian penelitian ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang bertujuan untuk mengidentifikasi kinerja dan kualitas sistem produksi air minum IPAM Karangpilang II Kota Surabaya, memperoleh besaran nilai risiko kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), serta menentukan upaya mitigasi risiko kinerja sistem produksi air minum IPAM Karangpilang II Kota Surabaya.

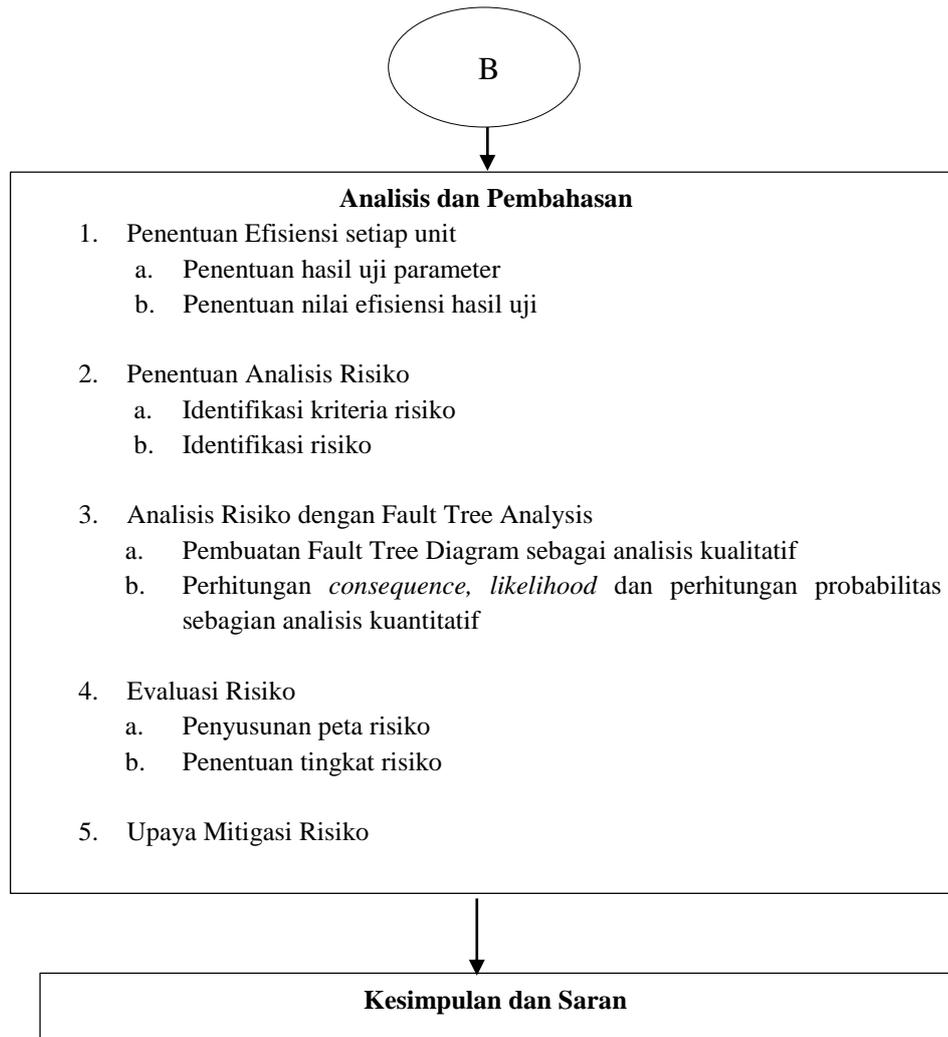
### 3.2 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian memuat garis besar tahapan yang dilakukan didalam kajian ini. Penyusunan tahapan kajian yang jelas dan sistematis dapat memudahkan pelaksanaan kajian. Kerangka penelitian secara keseluruhan akan dijelaskan pada Gambar 3.1

Gambar 3.1 Kerangka Penelitian







### 3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi tahapan-tahapan yang akan dilakukan saat penelitian. Tahapan penelitian meliputi ide penelitian, studi literatur, pengumpulan data, pengolahan analisis data, penyusunan laporan, kesimpulan dan saran.

### 3.4 Ide Penelitian

Ide studi penelitian ini berawal dari peningkatan jumlah penduduk yang mengakibatkan sumber air baku seperti Kali Surabaya menjadi tercemar. Selain itu, meningkatnya populasi penduduk menyebabkan kebutuhan akan air bersih meningkat sehingga kapasitas produksi dari IPAM juga mengalami peningkatan. Tidak sesuainya air baku dapat menurunkan kualitas air serta bertambahnya kapasitas air baku yang dapat menyebabkan penurunan kinerja sistem IPAM Karangpilang II. Selain itu, berdasarkan kajian penelitian terdahulu mengenai Kajian Kontrol Kualitas dari Produksi IPAM Karangpilang II menjelaskan bahwa terdapat beberapa parameter yang belum terkontrol pada beberapa unit IPAM serta hasil air produksi yang parameternya masih belum memenuhi baku mutu air yang telah ditetapkan. Hal tersebut dapat menyebabkan gangguan pada unit pengolahan air sehingga berpengaruh pada mutu kualitas air yang dihasilkan. Oleh Karena itu, diperlukan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk menentukan akar penyebab potensi kegagalan sistem IPAM Karangpilang II sehingga dapat dilakukan upaya untuk mengurangi penurunan kinerja dari sistem IPAM.

### 3.5 Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk penunjang dasar teori atau acuan dalam melaksanakan penelitian Tugas Akhir. Sumber dari studi literatur dapat meliputi jurnal/artikel ilmiah, *text book*, laporan penelitian terdahulu yang berhubungan dengan studi penelitian yang akan dilaksanakan. Tahapan ini akan berlangsung dari awal penyusunan tugas akhir hingga akhir penyusunan laporan.

### 3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan sebelum memulai kajian metode. Data tersebut digunakan sebagai dasar kajian dan dapat memudahkan dalam proses kajian. Data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data laporan kualitas air baku, air unit olah dan air produksi hasil uji Laboratorium IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu data uji air parameter harian dalam kurun waktu 2 (Dua) tahun terakhir.
- b. Data monitoring perbaikan IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu data aduan kendala mekanikal, elektrik dan sipil pada unit pengolahan dalam kurun waktu data analisis.
- c. Data laporan produksi IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu data debit air baku dan air produksi bulanan.
- d. Data teknis bangunan sipil IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu data desain bangunan unit pengolahan.
- e. Data nota desain (setelah Uprating) IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu data kriteria desain perencanaan.
- f. Standar Operasional Prosedur (SOP) IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu SOP pengolahan air minum.
- g. Data *Logsheet* IPAM Karangpilang II Kota Surabaya yaitu *Logsheet* harian kinerja unit IPAM

### 3.7 Analisis Data dalam Metode *Fault Tree Analysis*

Penerapan dari Metode *Fault Tree Analysis* dalam studi ini dilakukan dengan tahap-tahap berikut:

#### 1. Identifikasi Efisiensi Setiap Unit

##### a. Penentuan hasil uji parameter

Dalam tahapan menentukan hasil uji parameter setiap unit IPAM diperoleh dari data sekunder hasil uji laboratorium IPAM Karangpilang II. Kemudian, hasil tersebut dilakukan perbandingan dengan baku mutu air yang telah ditetapkan.

##### b. Penentuan nilai efisiensi hasil uji

Dalam menentukan nilai efisiensi setiap unit IPAM, dapat dilakukan dengan melakukan perhitungan efisiensi dari parameter kekeruhan setiap unit berikut:

$$\text{Efisiensi setiap unit} = \frac{\text{Kekeruhan IN} - \text{Kekeruhan OUT}}{\text{Kekeruhan IN}} \times 100\%$$

#### 2. Penentuan Analisis Risiko

##### a. Identifikasi kriteria risiko

Dalam mengidentifikasi kriteria risiko, permasalahan yang terjadi pada kinerja IPAM dikerucutkan sehingga dapat ditemukan *top event* atau kejadian puncak untuk digunakan dalam pembuatan diagram *fault tree*.

##### b. Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko dilakukan untuk mencari dan mengetahui kemungkinan terjadinya risiko yang akan terjadi, sehingga didapatkan sebuah daftar risiko yang perlu diprioritaskan untuk dilakukan analisis risiko lebih detail.

### 3. Analisis Risiko dengan *Fault Tree Analysis*

#### a. Analisis Kualitatif

Tahap pertama untuk melakukan analisis kualitatif yakni membuat diagram *fault tree* berdasarkan kejadian puncak atau *top event* yang telah diidentifikasi sebelumnya. Kemudian, melakukan identifikasi hubungan antar kejadian untuk menemukan sebab terjadi suatu risiko dengan memperhatikan hasil dari identifikasi risiko.

#### b. Analisis Kuantitatif

Pada tahapan ini dilakukan perhitungan terhadap *basic event* yang merupakan penyebab terjadinya risiko dengan menggunakan *consequences* dan *likelihood*. *Consequence* ditentukan dari nilai parameter kualitas air produksi sebelumnya. Kemudian, pada frekuensi kemungkinan terjadinya suatu risiko muncul pada proses (FP) dan frekuensi kejadian (FK) dapat digunakan dalam menentukan nilai probabilitas.

### 4. Evaluasi Risiko

#### a. Penyusunan Peta Risiko

Dalam penyusunan peta risiko, peta akan disusun dalam bentuk matriks. Matriks tersebut adalah matriks kategori tingkatan risiko yang disusun dalam sumbu X sebagai kategori *consequence* dan sumbu Y sebagai kategori *likelihood*.

#### b. Penentuan Tingkat Risiko

Dalam menentukan tingkat risiko dilakukan dengan mengidentifikasi hasil dari nilai *consequence* dalam 5 kategori (*Negligable, Low, Medium, High, Extreme*). Nilai tersebut diletakkan dalam matriks pada sumbu X. Pada nilai probabilitas diidentifikasi menjadi 5 kategori (*Rare, Unlike, Moderate, Likely, Almost Certain*) yang kemudian diletakkan pada sumbu Y. Setelah itu, didapatkan tingkat kategori risiko berupa (*Severe, High, Major, Significant, Moderate, Low, Trivial*).

### 5. Upaya Mitigasi Risiko

Rencana upaya mitigasi risiko dapat disusun setelah menentukan tingkat risiko sehingga dapat menentukan tindakan yang perlu dilakukan dalam mengurangi risiko penurunan kinerja IPAM Karangpilang II yang diperkirakan dapat terjadi.

## 3.8 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran didapatkan dari serangkaian kegiatan penelitian yang dilakukan. Sehingga tujuan penelitian dapat terjawab melalui kesimpulan dan adanya saran yang digunakan sebagai masukan demi penyempurnaan penelitian yang akan datang.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Kondisi Eksisting IPAM Karangpilang II**

Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karangpilang II mengolah air baku dengan penambahan kapasitas air baku sebesar 2.750 L/detik, yang sebelumnya memiliki kapasitas air baku sebesar 2.000 L/detik pada awal pembangunan tahun 1999. Air Baku IPAM Karangpilang II berasal dari Kali Surabaya yang dialirkan melalui intake menuju sumur penyeimbang, kemudian air baku dipompa menuju aerator sejumlah dua unit yang berbentuk terjunan, selanjutnya air baku dialirkan menuju unit prasedimentasi sejumlah sepuluh unit. Air yang telah melewati unit prasedimentasi kemudian dialirkan menuju bak koagulasi untuk dibubuhkan bahan kimia. Selanjutnya air dialirkan menuju unit clearator yang merupakan proses flokulasi dan sedimentasi. Air kemudian dialirkan menuju filter, selanjutnya air dilakukan proses desinfeksi menggunakan sistem injeksi dan dialirkan menuju reservoir untuk dilakukan proses distribusi kepada pelanggan. Berikut ini merupakan kondisi eksisting pada masing-masing unit, yaitu:

#### **1. Intake**

Intake IPAM Karangpilang II menggunakan jenis *River Intake* yang terletak pada tepi Kali Surabaya. Air baku disadap melewati *coarse manually raked screen* yang dilengkapi dengan *Oil Floating Boom*. *Oil Floating Boom* berupa pipa terapung berfungsi untuk mencegah limbah minyak dan kotoran besar terapung agar tidak dapat masuk ke saluran intake karena berpotensi merusak pompa intake. Pengontrolan dan pembersihan screen dilakukan setiap hari serta saat kapasitas pompa air baku mengalami penurunan akibat terhambat oleh sampah. Pemeliharaan Intake yang dilakukan yaitu mengecat bar screen untuk mencegah terjadinya keropos dan mengganti bar screen yang rusak.

Level air pada intake bersifat fluktuatif bergantung pada musim dan kondisi Kali Surabaya. Level muka air minimum pada Intake yaitu 4,7 mdpl atau sekitar 470 cm diatas permukaan air laut. Apabila level air mengalami penurunan dibawah angka tersebut, maka pihak IPAM Karangpilang II akan melakukan koordinasi bersama pihak pengelola Kali Surabaya yaitu Perum Jasa Tirta untuk melakukan penambahan *supply* air sungai sebagai bahan baku untuk IPAM Karangpilang II. Level air dilakukan pengontrolan oleh operator setiap hari. Air yang telah melewati Intake kemudian dialirkan menuju sumur penyeimbang.

#### **2. Sumur Penyeimbang**

Sumur penyeimbang merupakan unit yang berfungsi sebagai penyeimbang *supply* air ke pompa air baku. Sumur Penyeimbang pada IPAM Karangpilang II berjumlah satu unit dengan memiliki panjang 10,6 meter, lebar 6,6 meter, dan kedalaman 7,5 meter. Air pada sumur penyeimbang kemudian dialirkan menuju unit selanjutnya yakni Aerator dengan menggunakan pompa air baku.

#### **3. Rumah Pompa**

Pompa Air Baku IPAM Karangpilang II berjumlah enam unit. Terdapat tiga unit pompa air baku utama dengan kapasitas 1.100 L/s dan head sebesar 11 m disetiap unit. Sementara tiga unit lainnya yakni pompa air baku tambahan dengan kapasitas 250 L/s dengan head sebesar 15 m disetiap unit.

Berdasarkan data dari supervisor pemeliharaan mekanikal dan elektrikal, terdapat gangguan sistem pada unit pompa air baku baik pompa utama maupun pompa tambahan. Gangguan sistem tersebut berupa *check valve* pompa air baku yang tidak dapat dibuka dan ditutup dengan rapat serta suara kasar, dan terjadi bunyi kebisingan

pada electromotor pompa air baku utama maupun tambahan. Tabel monitoring perbaikan mekanikal pompa air baku dan tambahan dapat dilihat pada Lampiran B.

#### **4. Aerator**

Aerator merupakan unit terjadinya aerasi yang berfungsi untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) pada air baku sehingga dapat mengolah bahan pencemar yang dapat hilang dengan adanya kontak udara seperti deterjen, sulfida dan lainnya, serta mencegah terjadinya proses anaerobic pada proses selanjutnya. Aerator pada IPAM Karangpilang II berupa cascade (terjunan) berjumlah dua unit dengan diameter 8,5 meter dan tinggi 1,5 meter. Air baku yang berasal dari pompa air baku utama mengalir ke aerator bagian selatan. Kemudian air baku dari pompa air baku utama yang tersisa kemudian dialirkan ke aerator bagian utara yang akan bertemu dengan air baku dari pompa air baku tambahan. Hal tersebut memudahkan untuk melakukan pengontrolan dikarenakan operator hanya akan mengontrol pintu air baku yang dialirkan menuju aerator bagian selatan. Gambar kedua aerator pada saat pengamatan dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **5. Prasedimentasi**

Bak Prasedimentasi berfungsi untuk mengendapkan partikel diskrit pada air baku seperti kerikil, pasir, dan partikel kasar lainnya. IPAM Karangpilang II memiliki unit prasedimentasi sebanyak sepuluh unit, dengan ukuran panjang 80 meter, lebar 15 meter dan kedalaman 2,75 meter. Berdasarkan pengukuran debit yang dilakukan oleh bagian produksi IPAM Karangpilang II, dikarenakan debit air yang masuk bersifat fluktuatif dan tidak menentu maka diketahui debit air yang masuk ke bak prasedimentasi berkisar 280 hingga 300 L/s.

Kualitas air pada outlet prasedimentasi dilakukan pemantauan setiap dua jam sekali oleh operator produksi untuk parameter kekeruhan menggunakan turbidimeter. Selain itu, dilakukan pula uji laboratorium untuk parameter uji kekeruhan, pH, dan bahan organik setiap harinya. Apabila nilai kekeruhan melebihi dari 100 NTU, maka akan dilakukan penambahan dosis alum serta bahan kimia pembantu pada proses koagulasi-flokulasi selanjutnya. Kemudian, apabila nilai organik pada air baku tinggi, maka perlu ditambahkan karbon aktif bubuk yang dapat mengabsorpsi bahan organik.

Pengurasan bak prasedimentasi dilakukan setiap satu bulan sekali saat musim hujan, karena sedimen yang lebih banyak dihasilkan dibandingkan saat musim kemarau. Sementara pada musim kemarau dilakukan pengurasan bak prasedimentasi ketika ketebalan lumpur telah mencapai 60 cm hingga 1 meter dengan pengecekan yang dilakukan secara manual. Pengurasan bak prasedimentasi memerlukan waktu berkisar satu hingga tiga hari. Gambar prasedimentasi dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **6. Koagulasi**

Unit Koagulasi merupakan unit terjadinya pengadukan cepat dengan mencampurkan bahan kimia atau koagulan ke air baku sehingga dapat terbentuk flok-flok yang sangat kecil. Unit Koagulasi pada IPAM Karangpilang II menggunakan prinsip turbulensi berupa terjunan dengan mengatur pintu air outlet prasedimentasi secara manual. Terdapat 2 unit koagulasi dengan ukuran panjang 2,8 meter, lebar 2 meter dan kedalaman 5,5 meter.

Koagulan yang digunakan pada proses koagulasi ini yaitu aluminium sulfat cair. Dosis penambahan koagulan dipantau setiap hari. Apabila kualitas kekeruhan air baku pada outlet prasedimentasi melebihi 100 NTU, maka dosis alum dilakukan peningkatan. Air yang sudah dilakukan pengadukan cepat kemudian dialirkan menuju proses flokulasi yang terdapat pada unit clearator.

Berdasarkan pada data supervisor pemeliharaan mekanikal, terdapat kegagalan sistem pada unit koagulasi yaitu pompa pendorong alumunium sulfat yang bocor dan suara pompa yang kasar. Tabel monitoring perbaikan mekanikal dapat dilihat pada Lampiran B dan gambar Koagulasi dapat dilihat pada Lampiran C.

## 7. Clearator

Pada unit Clearator, terjadi dua proses yakni proses flokulasi dan proses sedimentasi. Unit clearator memiliki arah aliran *upflow*. Proses flokulasi merupakan proses pengadukan lambat setelah melewati proses pengadukan cepat pada unit koagulasi sebelumnya. Sementara proses sedimentasi merupakan proses mengendapnya flok-flok yang terbentuk pada proses sebelumnya. Clearator dilengkapi *tube settler* sebagai area pengendapan. *Tube settler* berupa *lamella* yang disusun sedemikian rupa sehingga membentuk heksagonal dengan sudut kemiringan 60°. Pada IPAM Karangpilang, terdapat 4 unit clearator dengan diameter 28,6 meter dan tinggi 5,8 meter. Pada setiap unit *clearator*, terdapat 18 drain keliling yang mengelilingi unit *clearator*.

Air yang telah melewati proses koagulasi kemudian dialirkan menuju proses flokulasi yang terdapat pada tengah-tengah unit clearator. Apabila nilai kualitas kekeruhan air pada outlet prasedimentasi masih tinggi melebihi 100 NTU, maka dilakukan penambahan bahan kimia tambahan agar terbentuk flok-flok yang lebih besar dan berat sehingga pengendapan dapat terjadi lebih baik. Bahan kimia tambahan yang digunakan pada proses flokulasi yaitu polielektrolit. Kemudian air menuju bagian pengendapan. Air keluar dari clearator melalui pipa launder yaitu pipa fiber yang berlubang menuju proses selanjutnya yaitu proses filtrasi. Kualitas air pada outlet clearator dilakukan pemantauan setiap dua jam sekali dengan parameter kekeruhan menggunakan turbidimeter.

Pembuangan lumpur dilakukan secara kontinyu dengan membuka drain yang ada di samping unit *clearator* menuju *drain center* yang kemudian dialirkan menuju *sludge lagoon* menggunakan pompa lumpur. Pembersihan bagian atas bak pengendap dilakukan setiap hari, sementara pada bagian dalamnya dikuras setiap satu bulan sekali.

## 8. Filter

Unit Filter merupakan unit yang berfungsi untuk menyaring flok-flok yang masih terbawa dari olahan unit sebelumnya. Pada IPAM Karangpilang II, unit filter menggunakan jenis *rapid sand filter dual media*. Media yang digunakan pada unit filter yaitu pasir silika dan antrasit. Ketebalan media pasir silika yang digunakan yaitu 60 cm, sementara ketebalan pada media antrasit yaitu 40 cm.

IPAM Karangpilang II memiliki unit filter sebanyak 16 unit dengan ukuran panjang 10 meter, lebar 6 meter dan kedalaman 3,25 meter. Air mengalir ke unit filter secara gravitasi melalui pintu air dari unit sebelumnya, kemudian air melalui penyaringan di *filterbed dual media*. Selanjutnya, air mengalir keluar dari filter menuju reservoir melalui *nozzle* di dasar unit filter. Pemantauan parameter kekeruhan kualitas air dilakukan oleh operator setiap dua jam sekali.

Pencucian unit filter perlu dilakukan untuk mencegah terjadinya penyumbatan (*clogging*) pada pori-pori media filter oleh kotoran yang tertahan pada media filter. Pencucian unit filter dilakukan setiap hari sekali dengan dua tahap yaitu menggunakan *blower* dan *backwash*. Pada tahap *blower*, udara dihembuskan untuk mebebaskan kotoran yang menempel pada permukaan media filter. Pada tahap ini, perlu dilakukan pemantauan pada kondisi *nozzle*. Apabila saat proses *blower* terdapat hembusan yang tidak merata, maka perlu dilakukan penggantian *nozzle*. Selanjutnya pada tahap *backwash*, kotoran yang telah lepas dari permukaan media filter kemudian dilakukan pembilasan agar kotoran dapat mengalir menuju saluran pembuangan (*gutter*).

Berdasarkan data supervisor pemeliharaan mekanikal, dalam kurun periode Bulan Januari 2020 hingga Februari 2022, terdapat kegagalan sistem pada unit filter yaitu berupa *penstock* bocor dan tidak dapat dibuka dan ditutup secara otomatis, valve outlet filter tidak dapat dibuka dan tutup otomatis, actuator backwash filter yang mengalami kebocoran udara. Kegagalan sistem pada unit filter selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B dan gambar Filter dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **9. Desinfeksi**

Proses desinfeksi pada IPAM Karangpilang II dilakukan pada inlet reservoir. Desinfektan yang digunakan yaitu gas chlorine. Pembubuhan dilakukan dengan menggunakan satu tabung gas chlorine ukuran 1000 kg, satu regulator dan satu ejector. Gas chlorine diinjeksikan dari tabung kemudian didorong oleh pompa ejector bersama air yang memiliki arus. Hal ini agar chlorine yang diinjeksikan tidak mengalami kontak dengan udara dan dapat didistribusikan secara merata. Dosis gas chlorine yang digunakan untuk proses desinfeksi yaitu sebanyak 1,5 ppm untuk menghasilkan sisa chlorine sebanyak 0,2-1,0 ppm.

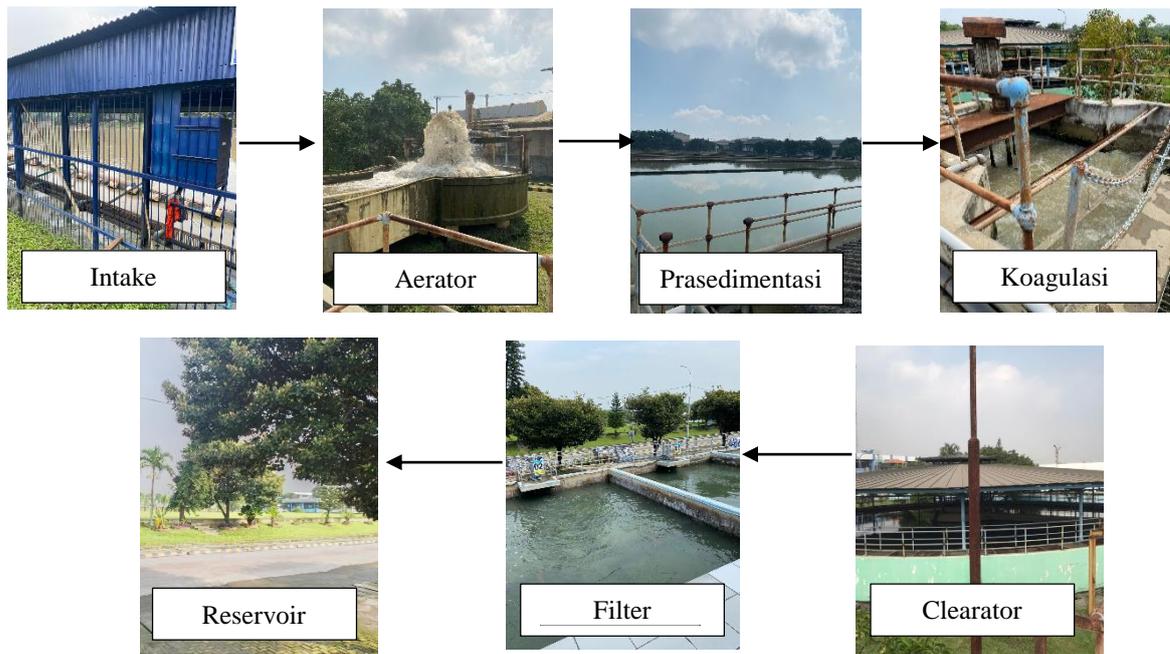
Berdasarkan data supervisor perbaikan mekanikal, terdapat beberapa kegagalan sistem yang pernah terjadi berupa scrubber chlor yang mengalami kebocoran, pipa kapiler yang mengalami sumbat dan pipa pendorong klor yang mengalami kebocoran. Kegagalan sistem pada unit desinfeksi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B dan gambar Desinfeksi dapat dilihat pada Lampiran C.

#### **10. Reservoir**

Unit reservoir merupakan tempat menampung air bersih hasil dari pengolahan. IPAM Karangpilang II memiliki 2 unit reservoir dengan dimensi panjang 60 meter, lebar 35 meter, dan kedalaman 4,5 meter. Unit reservoir pada IPAM Karangpilang II terletak dibawah permukaan tanah yang bertujuan untuk mencegah kontaminasi air dari udara dan sinar matahari yang dapat menyebabkan tumbuhnya organisme didalam air. Selain itu, reservoir harus dalam keadaan tertutup dan tahan bocor agar chlorine yang sudah dibubuhkan tidak menguap.

Berdasarkan data supervisor perbaikan mekanikal, terdapat beberapa kegagalan sistem yang terjadi pada pompa distribusi air produksi baik pompa utama maupun pompa tambahan. Kegagalan sistem tersebut berupa mekanikal seal pompa yang mengalami kebocoran, check valve yang bocor dan manometer discharge pada pompa yang tidak stabil. Kegagalan sistem pompa distribusi selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B dan gambar Reservoir dapat dilihat pada Lampiran C.

Berikut ini gambar diagram alir unit pengolahan pada IPAM Karangpilang II pada kondisi eksisting.



Gambar 4.1 Diagram Alir Unit IPAM Karangpilang II

#### 4.2 Karakteristik Kualitas Air Baku IPAM Karangpilang II

Kali Surabaya menjadi air baku yang digunakan dalam pengolahan IPAM Karangpilang II. Menurut IKPLHD Kota Surabaya tahun 2018, Kali Surabaya termasuk kedalam sungai kelas II. Analisis kualitas air baku bertujuan untuk mengetahui apakah parameter dari air baku yang digunakan telah memenuhi standar baku mutu air sungai kelas II dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021. Pengujian kualitas air baku oleh laboratorium IPAM Karangpilang II dilakukan setiap hari. Analisis kualitas air baku menggunakan beberapa parameter yang dianalisis, yaitu kekeruhan, TSS, TDS, pH, COD, dan total coliform. Data baku mutu air kelas II menurut PP No. 22 Tahun 2021 serta data air baku IPAM Karangpilang II dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2

Tabel 4.1 Baku Mutu Air Kelas II

Parameter	Baku Mutu Sungai Kelas II	Satuan
Kekeruhan	-	-
TSS	50	mg/L
TDS	1000	mg/L
pH	6-9	-
COD	25	mg/L
Total Coliform	5000	jml/100 ml

Sumber : (Peraturan Pemerintah, 2021)

Tabel 4.2 Karakteristik Air Baku IPAM Karangpilang II

Bulan - Tahun	Kekeruhan	TSS	TDS	pH	COD	T. Coliform
	NTU	mg/L	mg/L		mg/L	Jumlah/100 mL
Maret'20	169,64	-	242	7,54	36,34	-
April'20	178,32	136,95	278	7,57	51,92	71000
Mei'20	137,10	110,19	221	7,53	24,42	71000
Juni'20	53,57	52,05	445	7,58	17,84	76666,67

Bulan - Tahun	Kekeruhan	TSS	TDS	pH	COD	T. Coliform
	NTU	mg/L	mg/L		mg/L	Jumlah/100 mL
Juli'20	29,03	80,55	348	7,68	14,95	99750
Agustus'20	13,65	63,111	344	7,17	16,11	124666,67
September'20	12,90	19	256	7,69	17,6	66081,5
Oktober'20	20,11	19,8	266	7,55	18,4	71351
November'20	120,02	62,9	268	7,54	25,1	120621
Desember'20	224,72	238	288	7,51	29,54	78665,25
Januari'21	275,36	279	244	7,5	44,74	-
Februari'21	239,97	204	300	7,6	32,45	44325
Maret'21	303,48	350	304	7,5	36,34	65000
April'21	304,10	252	356	7,5	-	-
Mei'21	53,94	55	269	7,8	41	-
Juni'21	119,11	116	220	7,6	27	-
Juli'21	40,50	97	313	7,6	25	-
Agustus'21	23,23	80	220	7,7	23	15200
September'21	34,24	85	279	7,5	23	41750
Oktober'21	20,17	69	263	7,7	18	48500
November'21	192,49	196	220	7,5	31	84000
Desember'21	196,57	363	256	7,5	28	37819
Januari'22	154,30	365	266	7,5	25	162890
Februari'22	163,20	361	266	7,6	26	31817

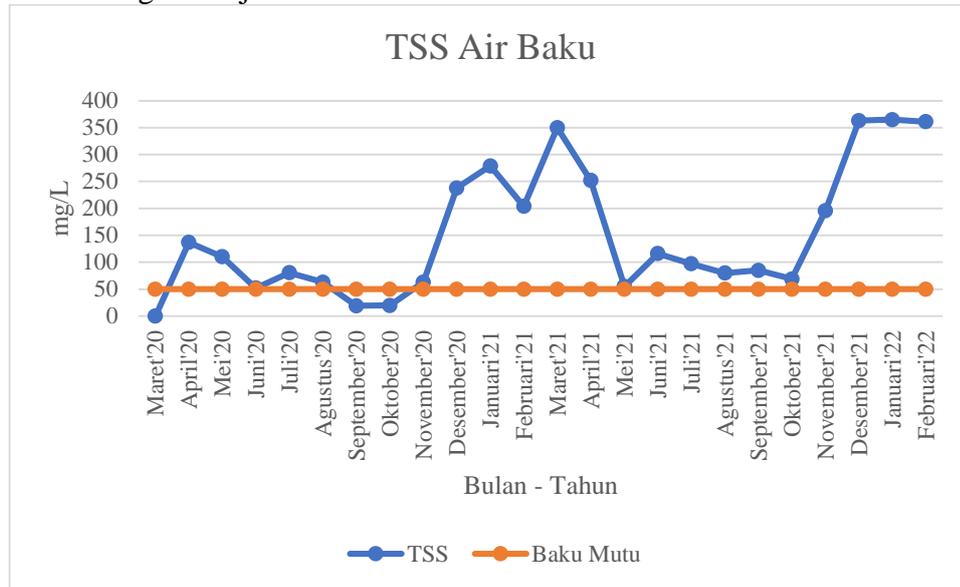
Sumber : IPAM Karangpilang II Kota Surabaya



Gambar 4.2 Nilai Kekeruhan Air Baku

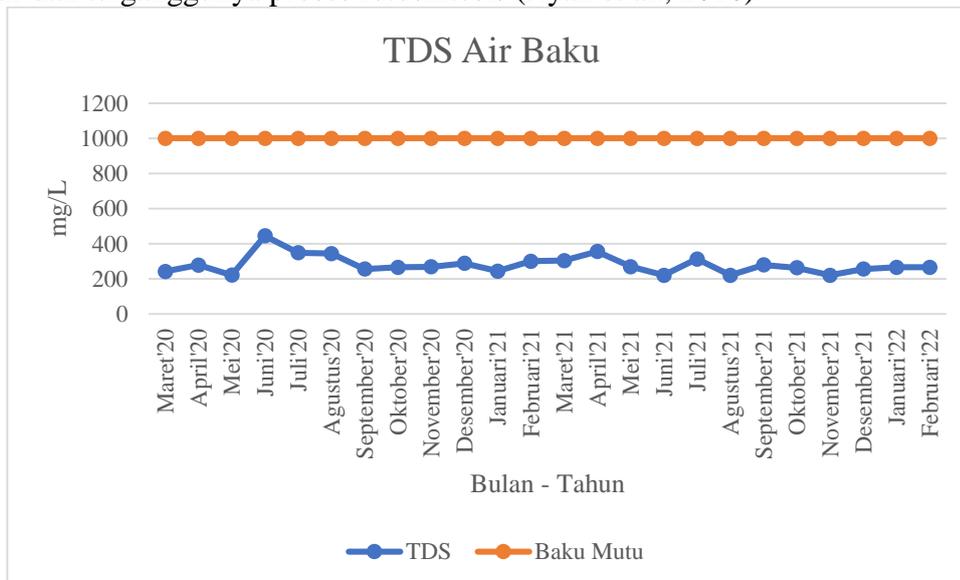
Pada grafik kekeruhan pada gambar diatas ditunjukkan nilai kekeruhan mengalami perubahan yang cukup signifikan. Hal ini disebabkan oleh pergantian musim yang berpengaruh pada kekeruhan air baku. Pada musim kemarau, nilai kekeruhan air baku akan mengalami penurunan. Hal ini ditunjukkan oleh data kekeruhan pada Bulan Mei hingga Oktober. Sementara pada musim penghujan, nilai kekeruhan air baku mengalami kenaikan. Hal ini ditunjukkan oleh data kekeruhan pada Bulan November hingga April. Pada musim pengujan, kekeruhan air baku mengalami kenaikan disebabkan oleh debit air sungai yang meningkat pada

saat musim penghujan sehingga membawa endapan yang ikut tersuspensi. Kondisi tersebut menyebabkan air sungai menjadi lebih keruh.



Gambar 4.3 Nilai TSS Air Baku

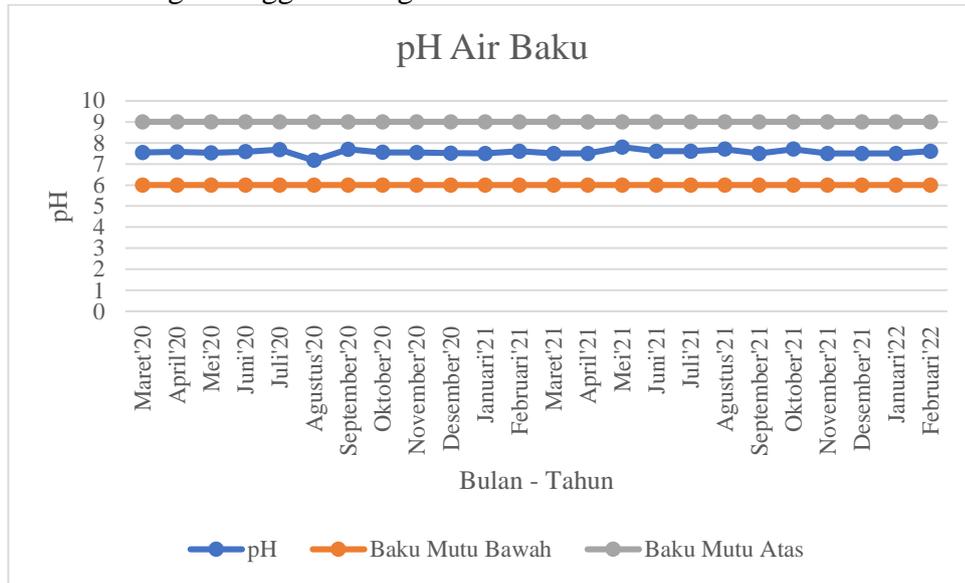
Parameter TSS pada grafik diatas menunjukkan nilai TSS mengalami perubahan yang cukup fluktuatif akibat pergantian musim. Konsentrasi TSS pada air baku berfluktuatif berkisar antara 19 mg/L hingga 363 mg/L. Baku mutu parameter TSS pada sungai kelas II menurut Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2021 yaitu 50 mg/L. Berdasarkan pada data IPAM Karangpilang II, parameter TSS cenderung tinggi ketika musim penghujan. Namun, terdapat nilai TSS yang tidak sesuai dengan baku mutu yaitu pada Bulan April 2020 hingga Bulan Agustus 2020 dan pada Bulan November 2020 hingga Bulan Februari 2022. Penyebab adanya TSS di perairan yang utama yaitu kikisan atau erosi tanah yang terbawa ke badan air. Sehingga apabila konsentrasi TSS memiliki nilai yang tinggi maka dapat menghambat masuknya cahaya ke dalam air dan terganggunya proses fotosintesis (Jiyah et al., 2016).



Gambar 4.4 Nilai TDS Air Baku

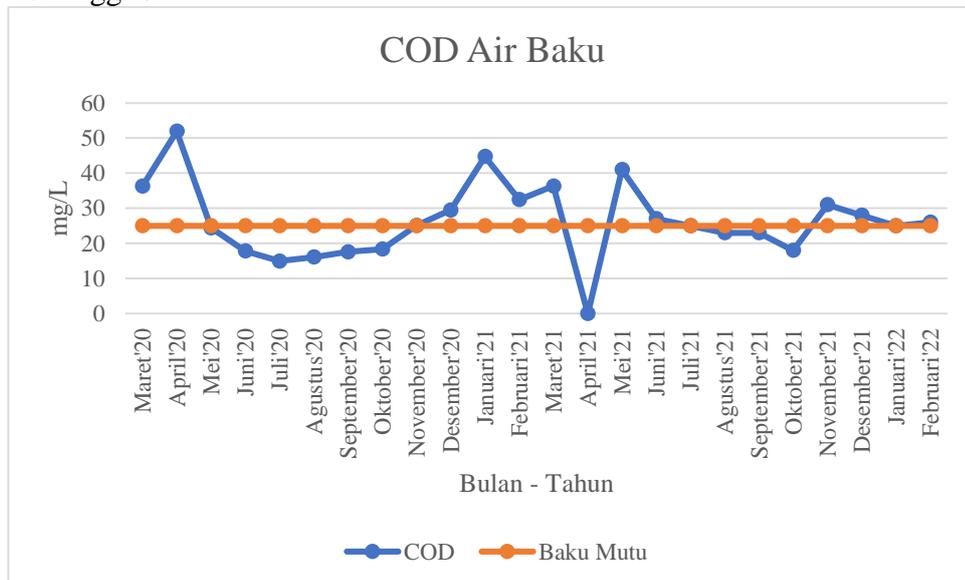
Parameter TDS merupakan padatan terlarut seperti limbah deterjen dan sabun. Pada grafik diatas, diketahui nilai TDS pada Bulan Maret 2020 hingga Bulan Februari 2022 masih

ada dibawah baku mutu sungai kelas II PP No.22 Tahun 2021 yaitu dibawah 1000 mg/L dengan nilai TDS antara 220 mg/L hingga 445 mg/L.



Gambar 4.5 Nilai PH Air Baku

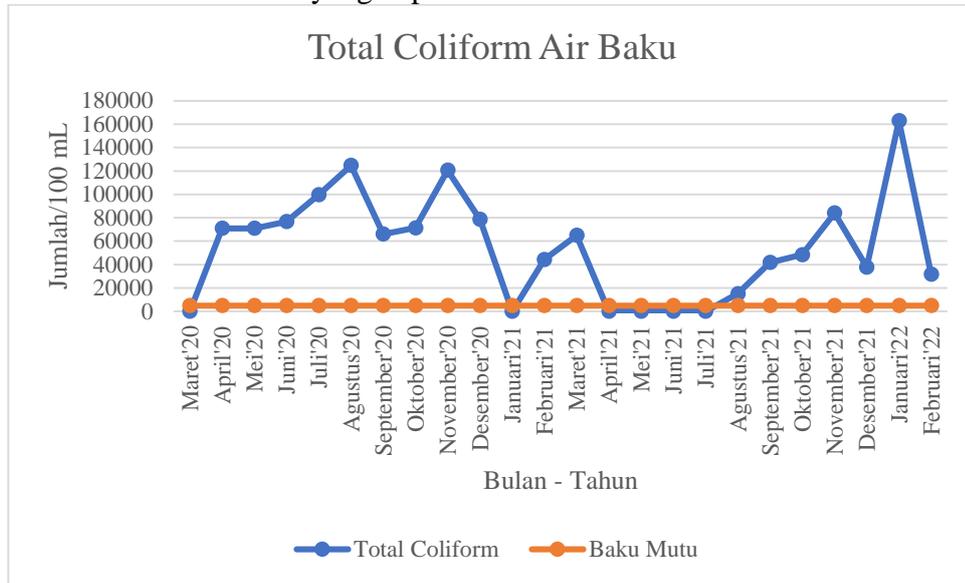
Pada grafik diatas diketahui, Parameter pH pada Bulan Maret 2020 hingga Februari 2022 tidak mengalami perubahan yang signifikan. Nilai pH berkisar 7,17 hingga 7,80. Nilai pH tersebut dapat dikatakan sesuai dengan baku mutu air sungai kelas II PP No. 22 Tahun 2021 yaitu antara 6 hingga 9.



Gambar 4.6 Nilai COD Air Baku

Pada grafik diatas diketahui Parameter COD pada air baku mengalami fluktuasi pada Bulan Maret 2020 hingga Februari 2022 dengan nilai COD antara 17,6 hingga 51,92 mg/L. Menurut Supervisor IPAM Karangpilang II, pabrik industri disekitar lokasi terkadang membuang dan mengalirkan limbah industri mereka langsung ke Kali Surabaya secara illegal pada saat musim hujan dikarenakan arus Kali Surabaya yang sedang deras. Sehingga hal tersebut memengaruhi tingginya nilai COD air baku pada bulan-bulan di musim penghujan yaitu Bulan November hingga April. Nilai COD pada bulan-bulan tersebut melebihi baku mutu air sungai kelas II PP No. 22 Tahun 2021 yaitu 25 mg/L. Nilai COD yang tinggi dan tidak sesuai

baku mutu yang ditetapkan dapat menambah beban kerja unit pengolahan, khususnya pada unit koagulasi-filtrasi serta unit filtrasi yang dapat menurunkan nilai COD.



Gambar 4.7 Nilai Total Coliform Air Baku

Total Coliform merupakan parameter yang menunjukkan adanya polusi kotoran. Terdapatnya total coliform yang ada pada makanan atau minuman menunjukkan adanya mikroba yang bersifat patogen dan toksigenik yang berbahaya bagi kesehatan (Pakpahan et al., 2015). Pada grafik diatas menunjukkan pada Bulan Maret 2020 hingga Bulan Februari 2022 memiliki nilai total coliform yang melebihi baku mutu air sungai kelas II PP No.22 Tahun 2021 yaitu sebesar 5.000 jumlah koloni/100 mL. Nilai total coliform tertinggi terjadi pada Bulan Januari 2022 yaitu sebesar 162.890 jumlah koloni/100 mL dan nilai total coliform terendah terjadi pada Bulan Agustus 2021 yaitu sebesar 15.200 jumlah koloni/100 mL.

### 4.3 Efisiensi Unit Pengolahan

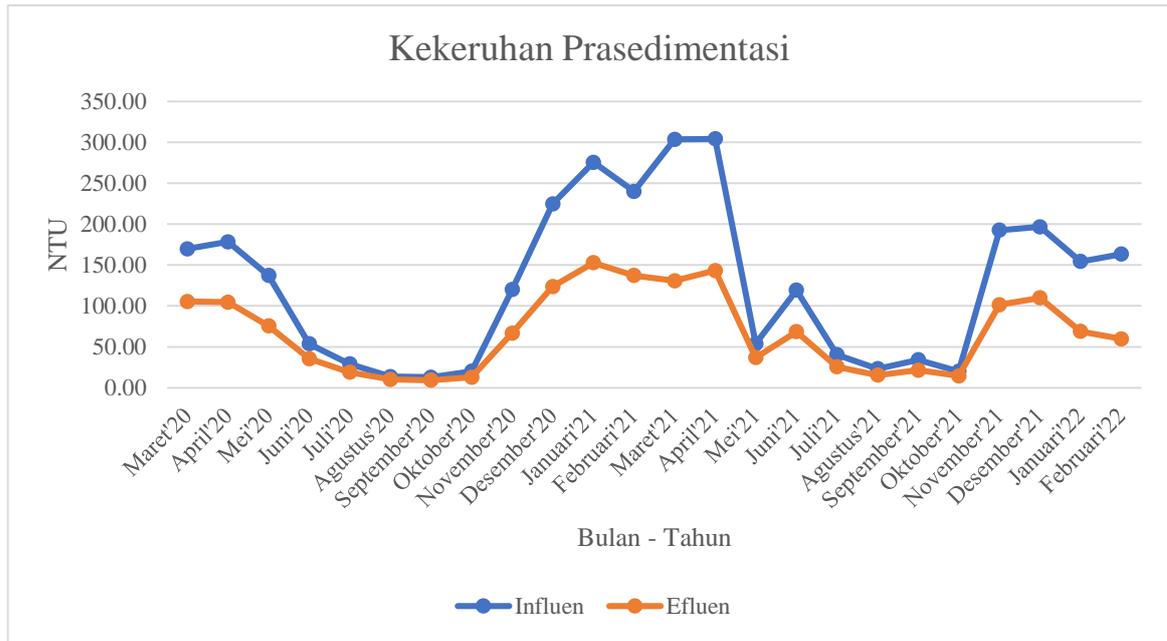
Pada IPAM Karangpilang II, efisiensi unit pengolahan menggunakan parameter kekeruhan. Air baku memiliki nilai kekeruhan yang berfluktuasi. Pada musim penghujan, air baku memiliki nilai kekeruhan yang tinggi sehingga mengakibatkan terhambatnya proses pengolahan air. Hal tersebut memengaruhi kualitas air produksi yang dihasilkan dan kinerja dari instalasi pengolahan air minum.

Efisiensi pada unit instalasi pengolahan air dalam penurunan nilai kekeruhan dihitung berdasarkan nilai kekeruhan pada inlet unit dikurangi nilai kekeruhan pada outlet unit dibagi dengan nilai kekeruhan dikalikan 100%. Perhitungan efisiensi menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Efisiensi = \frac{(Inlet Prasedimentasi - Efluen Prasedimentasi)}{Inlet Prasedimentasi} \times 100\%$$

#### 4.3.1 Efisiensi Unit Prasedimentasi

Unit prasedimentasi merupakan unit awal untuk pengendapan partikel diskrit pada air baku seperti kerikil, pasir, dan partikel kasar lainnya secara gravitasi. Data nilai kekeruhan pada unit prasedimentasi IPAM Karangpilang II dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.8 Nilai Kekeruhan Prasedimentasi

Berdasarkan pada grafik diatas, nilai kekeruhan pada influen dan efluen unit prasedimentasi dapat dilakukan perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan unit prasedimentasi. Hasil perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.3 Efisiensi Penurunan Kekeruhan Unit Prasedimentasi

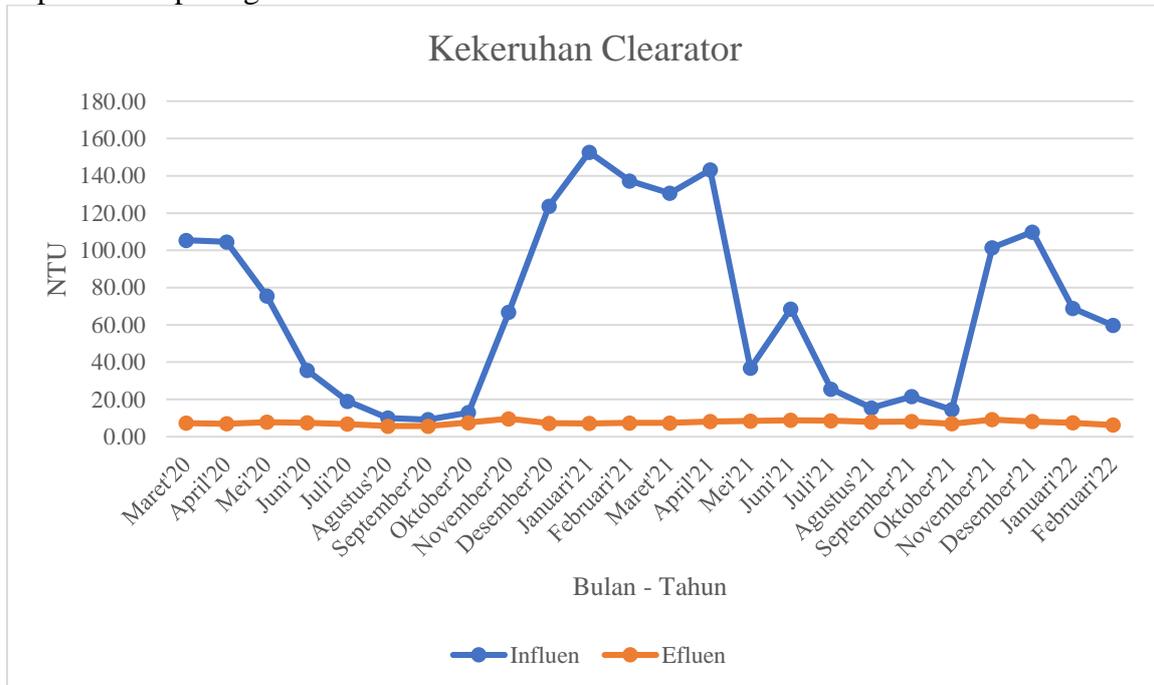
Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen Prasedimentasi	Efluen Prasedimentasi	
Maret'20	169,64	105,42	38%
April'20	178,32	104,55	41%
Mei'20	137,10	75,50	45%
Juni'20	53,57	35,53	34%
Juli'20	29,03	19,04	34%
Agustus'20	13,65	10,09	26%
September'20	12,90	9,20	29%
Oktober'20	20,11	12,92	36%
November'20	120,02	66,78	44%
Desember'20	224,72	123,71	45%
Januari'21	275,36	152,72	45%
Februari'21	239,97	137,22	43%
Maret'21	303,48	130,66	57%
April'21	304,10	143,21	53%
Mei'21	53,94	36,81	32%
Juni'21	119,11	68,57	42%
Juli'21	40,50	25,58	37%
Agustus'21	23,23	15,45	33%
September'21	34,24	21,48	37%
Oktober'21	20,17	14,50	28%
November'21	192,49	101,43	47%

Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen Prasedimentasi	Efluen Prasedimentasi	
Desember'21	196,57	109,82	44%
Januari'22	154,30	68,91	55%
Februari'22	163,20	59,72	63%

Berdasarkan pada hasil perhitungan, terdapat nilai efisiensi penurunan kekeruhan unit prasedimentasi yang tidak sesuai standar. Menurut Reynolds & Richards (1996), nilai penurunan efisiensi kekeruhan pada unit prasedimentasi yaitu sebesar 80%. Namun, nilai efisiensi penurunan kekeruhan unit prasedimentasi pada data diatas tidak ada nilai yang mencapai 80%. Nilai efisiensi penurunan kekeruhan tertinggi terjadi pada Bulan Februari 2022 yaitu sebesar 63%.

#### 4.3.2 Efisiensi Unit *Clearator*

Unit *clearator* merupakan unit dimana tempat pengendapan flok yang terbentuk pada proses koagulasi-flokulasi. Data nilai kekeruhan pada unit *clearator* IPAM Karangpilang II dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.9 Nilai Kekeruhan Unit *Clearator*

Berdasarkan pada grafik diatas, nilai kekeruhan pada influen dan efluen unit *clearator* dapat dilakukan perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan unit *clearator*. Hasil perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Efisiensi Penurunan Kekeruhan Unit *Clearator*

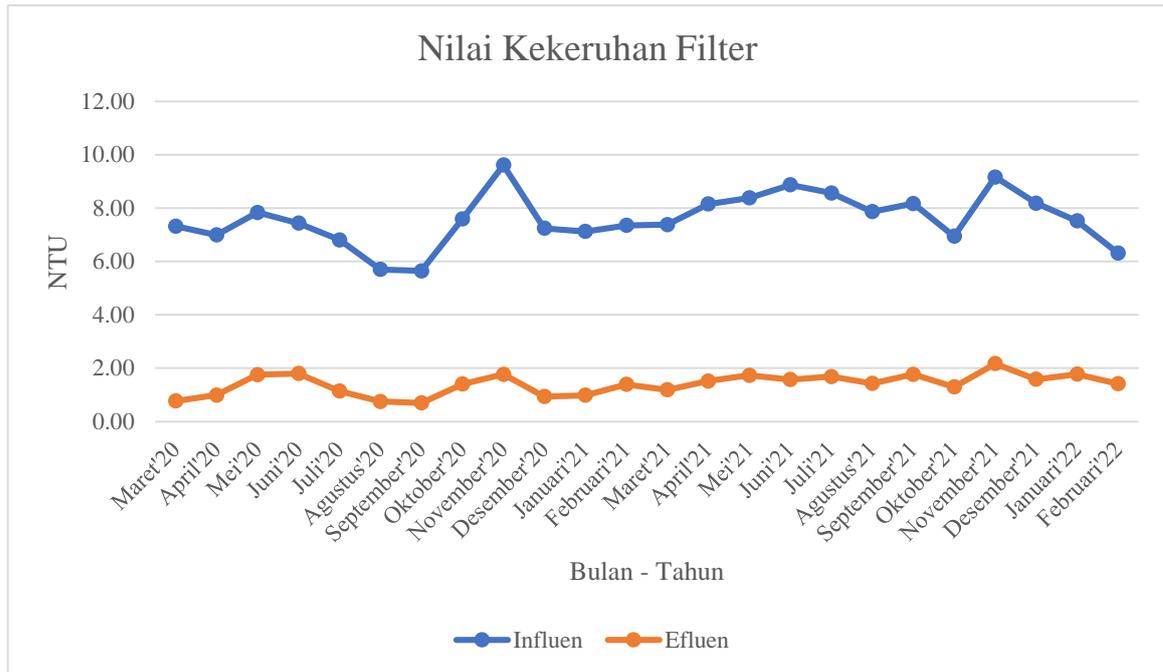
Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen <i>Clearator</i>	Efluen <i>Clearator</i>	
Maret'20	105,42	7,32	93%
April'20	104,55	6,99	93%
Mei'20	75,50	7,84	90%
Juni'20	35,53	7,44	79%

Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen Clearator	Efluen Clearator	
Juli'20	19,04	6,80	64%
Agustus'20	10,09	5,70	44%
September'20	9,20	5,65	39%
Oktober'20	12,92	7,60	41%
November'20	66,78	9,61	86%
Desember'20	123,71	7,24	94%
Januari'21	152,72	7,12	95%
Februari'21	137,22	7,35	95%
Maret'21	130,66	7,38	94%
April'21	143,21	8,15	94%
Mei'21	36,81	8,38	77%
Juni'21	68,57	8,87	87%
Juli'21	25,58	8,56	67%
Agustus'21	15,45	7,87	49%
September'21	21,48	8,17	62%
Oktober'21	14,50	6,94	52%
November'21	101,43	9,16	91%
Desember'21	109,82	8,18	93%
Januari'22	68,91	7,52	89%
Februari'22	59,72	6,31	89%

Menurut Droste & Gehr (2019), persentase penyisihan kekeruhan pada unit clearator adalah 90% hingga 99%. Sementara berdasarkan pada hasil perhitungan, terdapat nilai efisiensi yang tidak sesuai dengan kriteria yaitu pada Bulan Juni 2020 hingga November 2020 dan Mei 2021 hingga Oktober 2021 serta Januari 2022 hingga Februari 2022. Nilai efisiensi terendah terjadi pada Bulan September 2020 yaitu sebesar 39%. Sementara nilai efisiensi tertinggi terjadi pada Bulan Januari 2021 dan Februari 2021 yaitu sebesar 95%. Faktor yang dapat memengaruhi kinerja dan efisiensi penurunan kekeruhan pada unit pengendapan yaitu pengaruh bentuk geometri unit, kecepatan aliran dan pengaruh inlet dan outlet (Febiary et al., 2016).

#### 4.3.3 Efisiensi Unit Filtrasi

Unit filtrasi pada IPAM Karangpilang II merupakan *rapid sand filter* dengan jenis dual media. Media yang digunakan yaitu pasir silika dan antrasit yang bertujuan untuk menyaring flok dan partikel halus dan yang mengendap pada unit sebelumnya. Data nilai kekeruhan pada unit filtrasi IPAM Karangpilang II dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.10 Nilai Kekeruhan Filter

Berdasarkan pada grafik diatas, nilai kekeruhan pada influen dan efluen unit filter dapat dilakukan perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan unit filter. Hasil perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4..5 Efisiensi Penurunan Kekeruhan Unit Filtrasi

Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen Filter	Efluen Filter	
Maret'20	7,32	0,77	89%
April'20	6,99	0,99	86%
Mei'20	7,84	1,76	78%
Juni'20	7,44	1,80	76%
Juli'20	6,80	1,14	83%
Agustus'20	5,70	0,75	87%
September'20	5,65	0,70	88%
Oktober'20	7,60	1,41	81%
November'20	9,61	1,77	82%
Desember'20	7,24	0,94	87%
Januari'21	7,12	0,99	86%
Februari'21	7,35	1,39	81%
Maret'21	7,38	1,19	84%
April'21	8,15	1,52	81%
Mei'21	8,38	1,73	79%
Juni'21	8,87	1,57	82%
Juli'21	8,56	1,69	80%
Agustus'21	7,87	1,43	82%
September'21	8,17	1,77	78%
Oktober'21	6,94	1,30	81%
November'21	9,16	2,17	76%

Bulan - Tahun	Kekeruhan (NTU)		Efisiensi
	Influen Filter	Efluen Filter	
Desember'21	8,18	1,59	81%
Januari'22	7,52	1,78	76%
Februari'22	6,31	1,42	78%

Menurut Masduqi & Assomadi (2012), persentase efisiensi filter dengan jenis *Rapid sand filter* yaitu sebesar 90% hingga 98%. Sementara pada perhitungan didapatkan bahwa dari seluruh bulan belum ada nilai efisiensi yang memenuhi kriteria. Nilai efisiensi terendah terjadi pada Bulan Juni 2020, November 2021 dan Bulan Januari 2022 yaitu sebesar 76%. Sementara nilai efisiensi tertinggi terjadi pada Bulan Maret 2020 yaitu sebesar 89%. Faktor yang memengaruhi efisiensi penurunan kekeruhan pada unit filter yaitu ketebalan lapisan media filter, suhu air, kecepatan filtrasi dan kualitas air (Abuzar & Pramono, 2014).

#### 4.4 Karakteristik Kualitas Air Produksi IPAM Karangpilang II

Analisis kualitas air produksi bertujuan untuk mengetahui apakah parameter dari air hasil produksi telah memenuhi standar baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 untuk selanjutnya dipasok ke pelanggan. Pengujian kualitas air hasil produksi oleh laboratorium IPAM Karangpilang II dilakukan setiap hari. Parameter kualitas air produksi yang digunakan yaitu kekeruhan, TDS, pH, total coliform dan sisa klor. Data baku mutu air produksi menurut Permenkes N0. 492 Tahun 2010 serta data air hasil produksi IPAM Karangpilang II dapat dilihat pada Tabel 4. Dan Tabel 4.

Tabel 4.6 Baku Mutu Air Produksi

Parameter	Baku Mutu	Satuan
Kekeruhan	5	mg/L
TDS	500	mg/L
pH	6 - 9	-
Total Coliform	0	jml/100 ml
Sisa Klor	0,2 - 1	mg/L

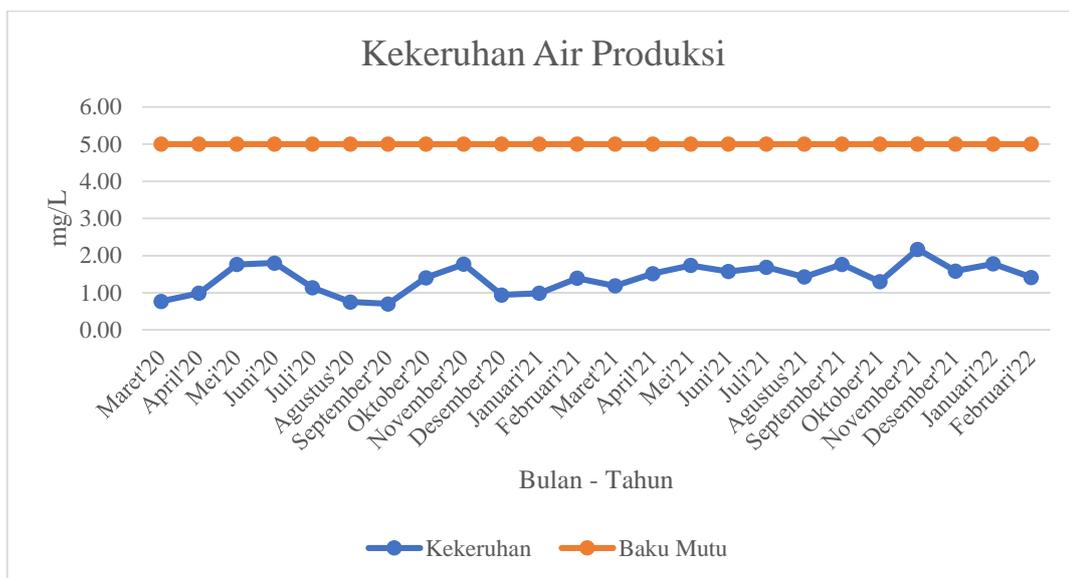
Sumber:(Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia, 2010)

Tabel 4.7 Karakteristik Air Produksi IPAM Karangpilang II

Bulan - Tahun	Kekeruhan	TDS	pH	T. Coliform	Sisa Klor
	mg/L	mg/L		Jumlah/100 mL	mg/L
Maret'20	0,77	-	7,11	0	0,64
April'20	0,99	-	7,07	0	1,1
Mei'20	1,76	257,67	7,04	0	1,47
Juni'20	1,80	407	7,21	0	0,56
Juli'20	1,14	297,33	7,38	0	0,93
Agustus'20	0,75	257	7,42	0	0,88
September'20	0,70	274	7,46	0	1
Oktober'20	1,41	272	7,26	0	1,05
November'20	1,77	273	7,04	0	1,27
Desember'20	0,94	279	6,9	0	1,09
Januari'21	0,99	280	6,9	0	1

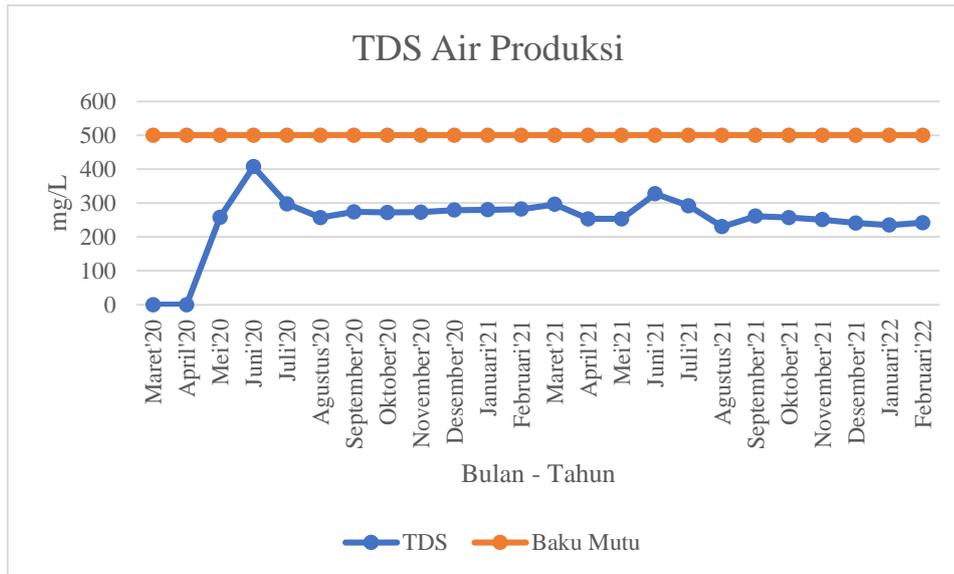
Bulan - Tahun	Kekeruhan	TDS	pH	T. Coliform	Sisa Klor
	mg/L	mg/L		Jumlah/100 mL	mg/L
Februari'21	1,39	282	6,9	0	1,04
Maret'21	1,19	296	7	0	1,04
April'21	1,52	253	7	0	0,88
Mei'21	1,73	253	7,4	0	0,78
Juni'21	1,57	327	7,3	0	0,87
Juli'21	1,69	292	7,4	0	0,46
Agustus'21	1,43	230	7,4	0	0,77
September'21	1,77	261	7,2	0	0,45
Oktober'21	1,30	257	7,5	0	0,46
November'21	2,17	251	7	0	0,66
Desember'21	1,59	241	7,01	0	0,76
Januari'22	1,78	235	7	0	0,5
Februari'22	1,42	242	7,1	0	1,2

Sumber: (IPAM Karangpilang II Kota Surabaya, 2022)



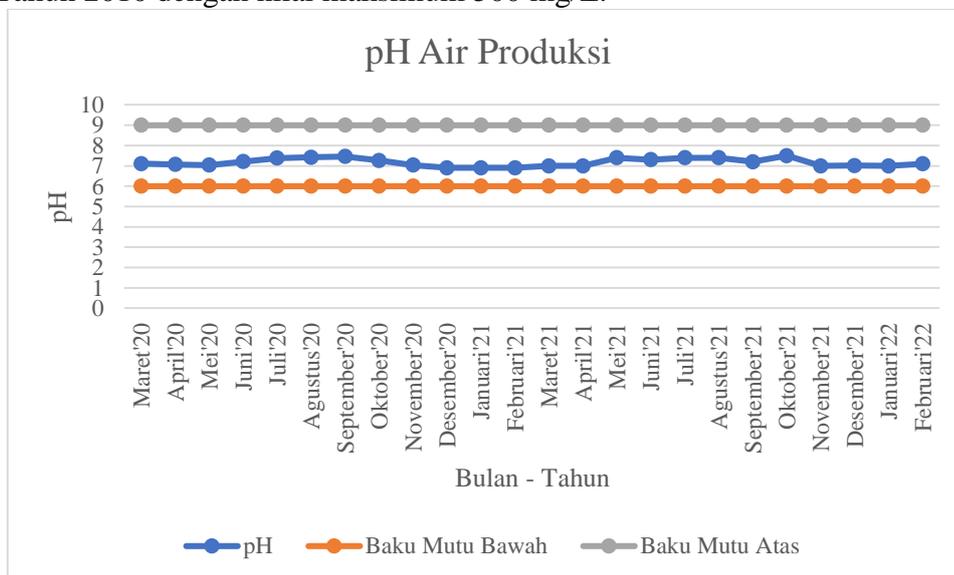
Gambar 4.11 Nilai Kekeruhan pada Air Produksi

Berdasarkan pada data dan grafik nilai kekeruhan air produksi hasil laboratorium IPAM Karangpilang II, diketahui nilai kekeruhan terendah terjadi pada Bulan September 2020 sebesar 0,70 NTU. Sementara nilai kekeruhan tertinggi terjadi pada Bulan November 2021 sebesar 2,17 NTU.



Gambar 4.12 Nilai TDS pada Air Produksi

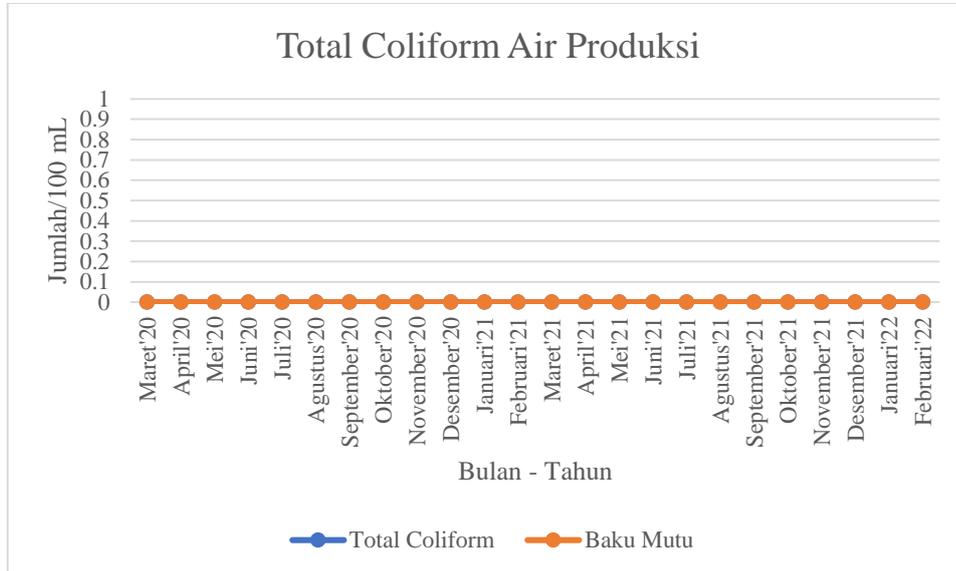
TDS merupakan jumlah material terlarut yang terdapat pada air. Menurut WHO (2003), material yang merupakan TDS dapat berupa klorida, sulfat, fosfat, nitrat, karbonat, bikarbonat, kalsium, ion-ion organik, senyawa koloid dan lainnya. Nilai TDS pada air dapat disebabkan oleh pelapukan bebatuan, limpasan dari tanah dan pengaruh antropogenik. Apabila nilai TDS tinggi melebihi baku mutu yang telah ditetapkan maka air tersebut tidak dapat digunakan karena memiliki risiko kesehatan (Rinawati et al., 2016). Pada data dan grafik yang diketahui, diketahui nilai TDS tertinggi terjadi pada bulan Juni 2020 yaitu sebesar 407 mg/L. Sementara nilai TDS terendah terjadi pada Agustus 2021 yaitu sebesar 230 mg/L. Dari seluruh data nilai TDS pada air produksi IPAM Karangpilang II diketahui telah memenuhi baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 dengan nilai maksimum 500 mg/L.



Gambar 4.13 Nilai PH pada Air Produksi

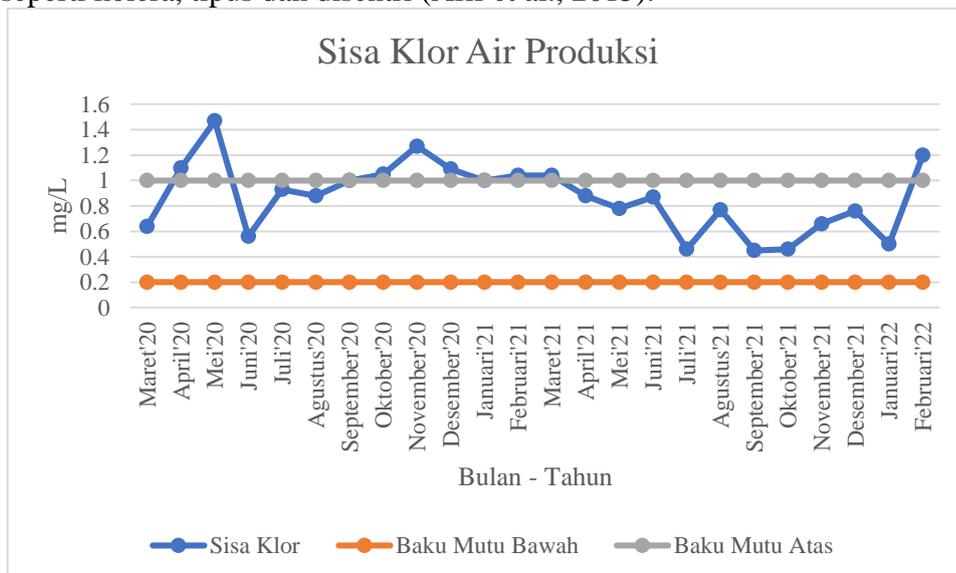
Analisis pH dapat menunjukkan kadar asam atau basa yang terkandung dalam suatu larutan melalui konsentrasi ion hydrogen ( $H^+$ ) dalam air (Sawyer et al., 2003). Menurut Permenkes No 492 Tahun 2010, baku mutu nilai pH pada air minum berkisar antara 6,5 hingga 8,5. Apabila air minum memiliki nilai pH yang kurang dari 6,5 maka air tersebut bersifat asam dan korosif sehingga dapat membahayakan tubuh manusia serta menyebabkan korosi pada pipa transmisi. Apabila air minum memiliki nilai pH yang lebih dari 8,5 maka air tersebut bersifat

basa dan memiliki rasa yang pahit (Adelina et al., 2012). Pada data dan grafik diatas, diketahui nilai pH tertinggi terjadi pada Bulan Oktober 2021 yaitu sebesar 7,50 sementara nilai pH terendah terjadi pada Bulan Desember 2020, Januari 2021 dan Februari 2021 yaitu masing-masing sebesar 6,90. Sehingga diketahui pH air produksi pada IPAM Karangpilang II telah memenuhi baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010.



Gambar 4.14 Nilai Total Coliform pada Air Produksi

Bakteri total coliform merupakan bakteri yang menjadi indikator adanya bakteri patogen dalam air sehingga dapat ditentukan kualitas air tersebut. Berdasarkan pada data dan grafik, nilai total coliform pada seluruh bulan memiliki nilai nol. Air produksi pada IPAM Karangpilang II telah sesuai baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 dengan nilai total coliform maksimal 0 jumlah koloni/100 mL, sehingga air produksi IPAM Karangpilang II tidak mengandung bakteri patogen. Bakteri pathogen dalam air minum dapat menyebabkan berbagai penyakit seperti kolera, tipus dan disentri (Afif et al., 2015).



Gambar 4.15 Nilai Sisa Klor pada Air Produksi

Sisa klor merupakan hasil dari sisa klorin pada proses desinfeksi dalam air. Analisis sisa klor untuk mengetahui kandungan hasil sisa proses desinfeksi dalam air yang berguna untuk menghilangkan bakteri patogen (Fitrianti, 2016). Pada data dan grafik diatas diketahui nilai sisa klor air produksi tertinggi terjadi pada Bulan Mei 2020 yaitu sebesar 1,47 mg/L. Sementara

nilai sisa klor air produksi terendah terjadi pada September 2021 yaitu sebesar 0,45 mg/L. Berdasarkan data diatas, dapat diketahui beberapa data nilai sisa klor memiliki nilai yang melebihi baku mutu yang telah ditentukan oleh Permenkes No. 492 Tahun 2010 yaitu dengan nilai antara 0,2 hingga 1. Bulan yang memiliki nilai sisa klor yang melebihi baku mutu terjadi pada Bulan April 2020, Mei 2020, Oktober 2020 hingga Desember 2020, Februari 2021 hingga Maret 2021, dan Februari 2022.

Menurut supervisor IPAM Karangpilang II, sisa klor pada air produksi yang melebihi baku mutu disebabkan oleh rendahnya bahan organik pada air baku yang berfluktuasi sehingga sisa klor yang dihasilkan dapat melebihi baku mutu. Pada proses desinfeksi, gas klor dibubuhkan dengan pompa *ejector* bersamaan dengan air yang bertekanan. Gas klor mengoksidasi zat organik, kemudian mengubah ammonia menjadi nitrogen yang dapat membunuh bakteri pathogen yang terdapat pada air dan menghasilkan sisa klor. Klor yang tersisa dipelihara sesuai dengan baku mutu agar kualitas air tetap terjaga dan tidak terdapat bakteri pathogen ketika diterima oleh konsumen. Namun, ketika konsentrasi klor berlebih dapat terikat dengan senyawa organik yang dapat membentuk senyawa karsiogenik (Fitrianti, 2016). Sehingga, apabila pada air produksi terdapat kadar sisa klor yang berlebih, maka dapat berdampak buruk pada tubuh manusia apabila dikonsumsi terus menerus (Anggraini, 2021).

#### **4.5 Penentuan Analisis Risiko**

Penentuan analisis risiko bertujuan sebagai tahap awal untuk mengidentifikasi risiko yang dapat terjadi pada kinerja IPAM Karangpilang II. Berikut ini merupakan tahap-tahap dalam melakukan penentuan analisis risiko.

##### **4.5.1 Identifikasi Kriteria Risiko**

Menurut Australian Standar Guidelines (1999), risiko adalah suatu kemungkinan atau kejadian yang tidak diinginkan yang akan memengaruhi suatu tujuan. Pada kajian ini, dapat diketahui kriteria risiko yang ditentukan adalah hal yang tidak sesuai dengan baku mutu kualitas air yang telah ditentukan atau kejadian yang tidak diharapkan pada proses pengolahan air yang dihasilkan oleh IPAM Karangpilang II.

Berdasarkan pada hasil perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan unit prasedimentasi pada Tabel, unit clearator pada Tabel, dan unit filter pada Tabel, diketahui bahwa terdapat beberapa nilai efisiensi pada setiap unit yang tidak memenuhi standar efisiensi penurunan. Pada unit prasedimentasi dalam periode Bulan Maret 2020 hingga Bulan Februari 2022, tidak ditemukan hasil efisiensi yang memenuhi standar efisiensi penurunan sebesar 80%. Sementara pada unit clearator, terdapat nilai efisiensi penurunan kekeruhan yang tidak memenuhi standar efisiensi penurunan sebesar 90% hingga 99% selama 14 bulan, yaitu pada Bulan Juni 2020 hingga November 2020 dan Mei 2021 hingga Oktober 2021 serta Januari 2022 hingga Februari 2022. Pada unit filter, tidak terdapat nilai efisiensi penurunan kekeruhan yang memenuhi standar sebesar 90% hingga 98% dalam jangka periode tersebut.

Parameter kekeruhan merupakan salah satu parameter penting dalam baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010. Maka dari itu, parameter kekeruhan digunakan dalam penentuan efisiensi dari unit pengolahan air pada IPAM Karangpilang II. Berdasarkan pada nilai efisiensi unit, terdapat dua unit pengolahan yang tidak memenuhi standar efisiensi dan satu unit yang masih memenuhi standar efisiensi dalam periode yang telah ditentukan. Proses pengolahan air dapat dikatakan optimal apabila efisiensi penurunan parameternya memenuhi standar nilai pengolahan. Dengan demikian, indikator kriteria risiko pada penelitian ini adalah penurunan kinerja IPAM Karangpilang II diakibatkan ketidaksesuaian efisiensi unit pengolahan air.

#### 4.5.2 Identifikasi Risiko

Risiko dapat dimaksudkan sebagai kemungkinan terjadinya kejadian yang dapat menimbulkan konsekuensi positif atau negative pada suatu tujuan (Anggraini, 2021). Identifikasi risiko merupakan proses dalam menentukan suatu risiko dapat terjadi. Tujuan dari proses identifikasi risiko ini adalah untuk menentukan risiko yang dapat terjadi sehingga didapatkan sebuah daftar risiko yang akan menjadi prioritas risiko untuk dilakukan analisis lebih detail. Tahapan yang dilakukan dalam mengidentifikasi risiko diantaranya yaitu pengambilan data sekunder, observasi lapangan, pengambilan data monitoring perbaikan serta perhitungan kriteria desain. Berdasarkan kajian berikut setelah dilakukan tahapan tersebut, kemudian diperoleh beberapa komponen faktor penyebab risiko penurunan kinerja IPAM Karangpilang II. Komponen faktor dapat dilihat sebagai berikut:

##### 1. Air Baku

Air baku yang digunakan oleh IPAM Karangpilang II merupakan air dari Kali Surabaya. Menurut IKPLHD Kota Surabaya tahun 2018, Kali Surabaya termasuk kedalam sungai kelas II yang diketahui memiliki nilai kekeruhan yang bersifat fluktuatif. Kekeruhan air baku bergantung pada pergantian musim. Pada musim kemarau, nilai kekeruhan pada air baku relatif lebih rendah. Pada periode kajian ini, air baku pada musim kemarau berkisar antara 12,90 hingga 53,57 NTU. Sementara pada musim hujan, nilai kekeruhan pada air baku relatif lebih tinggi. Hal ini ditunjukkan pada nilai kekeruhan air baku pada musim kemarau berkisar antara 119,11 hingga 304,10 NTU. Pada musim hujan, kekeruhan air baku mengalami kenaikan yang disebabkan oleh debit air sungai yang meningkat sehingga membawa endapan yang ikut tersuspensi. Kondisi tersebut menyebabkan air sungai menjadi lebih keruh. Nilai kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan tidak optimalnya kinerja unit pengolahan air seperti pada unit prasedimentasi, clearator dan filter.

##### 2. Pembubuhan Bahan Kimia

Pembubuhan bahan kimia merupakan faktor yang berpengaruh pada kinerja unit pengolahan air, khususnya pada proses sedimentasi dan filtrasi. Hal ini disebabkan karena pembubuhan bahan kimia dapat menurunkan nilai kekeruhan air, sehingga proses pengendapan flok pada unit clearator dan proses filtrasi pada filter dapat berjalan dengan optimal. Pada IPAM Karangpilang II, bahan kimia yang dibubuhkan yaitu alumunium sulfat untuk koagulan pada proses koagulasi dan polielektrolit untuk flokulan pada proses flokulasi. Karena air baku bersifat fluktuatif, maka perlu dilakukan pengontrolan terhadap dosis optimum pembubuhan bahan kimia. Dosis koagulan yang berlebihan dapat menyebabkan air semakin keruh. Sementara apabila dosis koagulan yang diberikan kurang maka flok tidak terbentuk.

Selain dosis bahan kimia, peralatan untuk menginjeksikan bahan kimia juga berpengaruh pada hasil pembubuhan. Berdasarkan data perbaikan mekanikal, pernah terjadi sepuluh kali kejadian error pada pompa pendorong alumunium sulfat selama Bulan Januari 2020 hingga Bulan Februari 2022.

##### 3. Proses Pengolahan Air

Proses pengolahan air merupakan faktor yang berpengaruh pada masing-masing unit yang dapat menurunkan kekeruhan yang berkaitan dengan perhitungan eksisting kriteria desain pada masing-masing unit. Berikut ini penurunan kinerja akibat faktor proses pengolahan air.

###### a. PRASEDIMENTASI

###### • Waktu Detensi (Td)

Untuk mengurangi nilai kekeruhan dengan optimal, diperlukan waktu tinggal yang ideal agar partikel diskrit yang terbawa bersama air dapat terendapkan

dengan sempurna. Pada kondisi eksisting, waktu detensi unit prasedimentasi dari hasil perhitungan Lampiran A yaitu sebesar 3,20 jam. Sehingga, hasil tersebut telah sesuai dengan kriteria perencanaan menurut nota desain *uprating* IPAM Karangpilang II yaitu 2-4 jam. Waktu detensi yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan partikel diskrit tidak terendapkan dengan optimal.

- **Beban Permukaan**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, beban permukaan pada unit prasedimentasi diketahui sebesar  $0,85 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ . Sehingga hasil perhitungan tersebut telah sesuai dengan standar nota desain *uprating* IPAM Karangpilang yaitu  $<50 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ .

- **Bilangan Reynold (NRe)**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, Bilangan *Reynold* (NRe) pada unit prasedimentasi diketahui sebesar 16.639,77. Berdasarkan nota desain IPAM Karangpilang II, bilangan *Reynold* (NRe) yaitu sebesar  $<2000$ . Sehingga hasil perhitungan tersebut diketahui bilangan *Reynold* (NRe) tidak sesuai dengan standar nota desain IPAM Karangpilang. Apabila bilangan *Reynold* tidak sesuai, dapat menyebabkan aliran yang turbulen pada unit prasedimentasi, sehingga menyebabkan tidak optimalnya pengendapan dan tidak memenuhinya kriteria efisiensi penurunan kekeruhan.

- **Bilangan Froude (NFr)**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, bilangan *Froude* (NFr) pada unit prasedimentasi diketahui sebesar  $2,43 \times 10^{-6}$ . Berdasarkan Nota desain IPAM Karangpilang II, standar bilangan *Froude* (NFr) yaitu  $>10^{-5}$ . Sehingga hasil perhitungan tersebut diketahui bilangan *Froude* tidak sesuai dengan Nota desain IPAM Karangpilang II.

#### b. CLEARATOR

- **Beban Permukaan**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, beban permukaan pada unit clearator diketahui sebesar  $11,25 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ . Berdasarkan Droste & Gehr (2019), overflow rate atau beban permukaan pada clearator sebesar  $58-290 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{jam}$ . Sehingga diketahui hasil perhitungan tersebut tidak sesuai dengan standar dan kriteria.

- **Waktu detensi (Td)**

Pada kondisi eksisting, waktu detensi unit clearator dari hasil perhitungan Lampiran A yaitu sebesar 0,94 jam. Sehingga, hasil tersebut telah sesuai dengan kriteria perencanaan menurut nota desain *uprating* IPAM Karangpilang II yaitu 0,4-1,7 jam. Waktu detensi yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan partikel diskrit tidak terendapkan dengan optimal.

- **Bilangan Reynold (NRe)**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, Bilangan *Reynold* (NRe) pada unit clearator diketahui sebesar 11.044,83. Berdasarkan SNI 6774:2008, bilangan *Reynold* (NRe) yaitu sebesar  $<2000$ . Sehingga hasil perhitungan tersebut diketahui bilangan *Reynold* (NRe) tidak sesuai dengan SNI 6774:2008. Apabila bilangan *Reynold* tidak sesuai, dapat menyebabkan aliran yang turbulen pada unit clearator, sehingga menyebabkan tidak optimalnya pengendapan dan tidak memenuhinya kriteria efisiensi penurunan kekeruhan.

- **Sistem Drain**

Terdapat 18 drain keliling pada masing-masing unit *clearator*. Pada drain keliling terdapat alat yaitu actuator. Aktuator merupakan sebuah alat yang

mengubah energi listrik menjadi energi kinetik agar *penstock* pada drain keliling dapat digerakkan secara otomatis. Pada *clearator* nomor 1 pernah mengalami 13 kali kejadian error selama periode Bulan Maret 2020 hingga Februari 2022. Sementara pada *clearator* 2 mengalami kejadian error sebanyak 14 kali. Pada *clearator* 3 mengalami kejadian error sebanyak 20 kali. Pada *clearator* 4 mengalami kejadian error sebanyak 15 kali. Data monitoring perbaikan selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

- ***Tube Settler***

*Tube Settler* merupakan peralatan yang dapat membantu meningkatkan efisiensi penurunan kekeruhan pada proses sedimentasi (Hendrasarie & Rini, 2001). Namun, menurut operator IPAM Karangpilang II sedimen yang ada pada unit *clearator* seringkali masih terlihat di bagian permukaan. Bahkan terkadang sedimen menempel pada pipa *lounder* yang merupakan saluran air yang telah melewati proses sedimentasi keluar dari unit *clearator*. Selain itu, menurut kepala bagian divisi monitoring sipil, *tube settler* pada *clearator* IPAM Karangpilang II berbentuk lembaran yang ditumpuk menjadi 2 bagian. Sehingga disinyalir terdapat bagian lubang pada *tube settler* yang tidak sesuai dan sejajar sehingga berpengaruh pada proses sedimentasi dan flok-flok yang tidak terendapkan dengan optimal.

c. **FILTER**

- **Kecepatan Filter**

Pada hasil perhitungan Lampiran A, kecepatan filter pada unit filter diketahui sebesar 10,73 m/jam. Berdasarkan nota desain IPAM Karangpilang II, standar kecepatan filter yaitu kurang dari 12 m/jam. Sehingga hasil perhitungan tersebut diketahui kecepatan filter sesuai dengan standar nota desain IPAM Karangpilang II.

- **Ketebalan Media**

Pada IPAM Karangpilang II, filter yang digunakan yaitu *rapid sand filter* dengan jenis dual media. Media filter yang digunakan yaitu pasir silika dan antrasit. Tebal media pasir silika pada filter IPAM Karangpilang II yaitu 600 mm dan ukuran media pasir silika yaitu 2,2-3,2 mm. Berdasarkan SNI 6774:2008, tebal media pasir silika yaitu berkisar pada 300-600 mm. Sementara berdasarkan nota desain IPAM Karangpilang II, media pasir silika memiliki ukuran lebih dari 0,46 mm. Sehingga diketahui, tebal dan ukuran media pasir silika telah memenuhi SNI 6774:2008 dan nota desain IPAM Karangpilang II. Media filter selanjutnya yang digunakan yaitu media antrasit. Tebal media antrasit pada filter IPAM Karangpilang II yaitu 400 mm dan ukuran antrasit yaitu 1,5-2,2 mm. Berdasarkan SNI 6774:2008, tebal media antrasit yaitu berkisar pada 400-500 mm. Sementara berdasarkan nota desain IPAM Karangpilang II, media antrasit memiliki ukuran lebih dari 0,7 mm. Sehingga diketahui tebal dan ukuran media antrasit telah memenuhi SNI 6774:2008 dan nota desain IPAM Karangpilang II.

- **Periode Antar Pencucian**

Pencucian filter yang dilakukan secara teratur dan sesuai dapat membantu menjaga kinerja unit filter agar optimal. Berdasarkan hasil wawancara terhadap Supervisor IPAM Karangpilang II, didapatkan waktu pengurasan filter dilakukan satu hari sekali atau 24 jam. Berdasarkan SNI 6774:2008, waktu pengurasan filter yaitu 18-24 jam. Sehingga diketahui waktu pengurasan filter pada IPAM Karangpilang II telah memenuhi SNI 6774:2008 .

4. **Sistem Backwash**

- **Proses Backwash**

Berdasarkan wawancara terhadap Supervisor IPAM Karangpilang II, proses backwash pada filter IPAM Karangpilang II dilakukan selama total 20 menit. Pada 5 menit pertama dilakukan persiapan backwash. Kemudian pada 15 menit terakhir dilakukan pencucian filter. Berdasarkan SNI 6774:2008, lama pencucian filter dilakukan selama 10-15 menit. Sehingga diketahui waktu pencucian telah memenuhi SNI 6774:2008. Kemudian pada hasil perhitungan Lampiran A, kecepatan pencucian pada unit filter diketahui sebesar 3,375 m/jam. Berdasarkan SNI 6774:2008, kecepatan pencucian sebesar 36-50 m/jam. Sehingga hasil perhitungan tersebut diketahui kecepatan pencucian tidak sesuai dengan SNI 6774:2008.

- **Proses Blower**

Berdasarkan wawancara terhadap Supervisor IPAM Karangpilang II, proses blower pada filter IPAM Karangpilang II dilakukan selama 15 menit. Berdasarkan SNI 6774:2008, lama blower pencucian filter dilakukan selama 10-15 menit. Sehingga diketahui waktu blower pencucian telah memenuhi SNI 6774:2008.

#### 4.6 Analisis Risiko dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

*Fault Tree Analysis* (FTA) merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis suatu potensi permasalahan yang dapat berisiko terjadi kegagalan pada suatu sistem sehingga dapat dilakukan upaya pencegahan masalah tersebut (Dwiano *et al.*, 2021). Metode *Fault Tree Analysis* berbentuk diagram *top-down*, yaitu dengan menentukan permasalahan di puncak hingga ditemukan akar permasalahan pada dasarnya (Nugraha & Sari, 2019). Diagram *Fault Tree Analysis* pada kajian ini dapat dilihat pada Gambar 4.16

##### 4.6.1 Penentuan Frekuensi dan Perhitungan Likelihood

Frekuensi merupakan jumlah suatu peluang atau kemungkinan yang dapat terjadi. Penentuan frekuensi diperlukan untuk perhitungan *likelihood*. Frekuensi yang diperlukan pada kajian ini yaitu frekuensi proses dan frekuensi kejadian yang ditentukan berdasarkan hasil pengamatan, data monitoring perbaikan, hasil wawancara dan diskusi dengan pihak Laboratorium, Divisi produksi dan divisi pemeliharaan mekanikal, elektrikal dan sipil IPAM Karangpilang II. Hasil penentuan frekuensi proses dan frekuensi kejadian dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Frekuensi Proses dan Frekuensi Kejadian

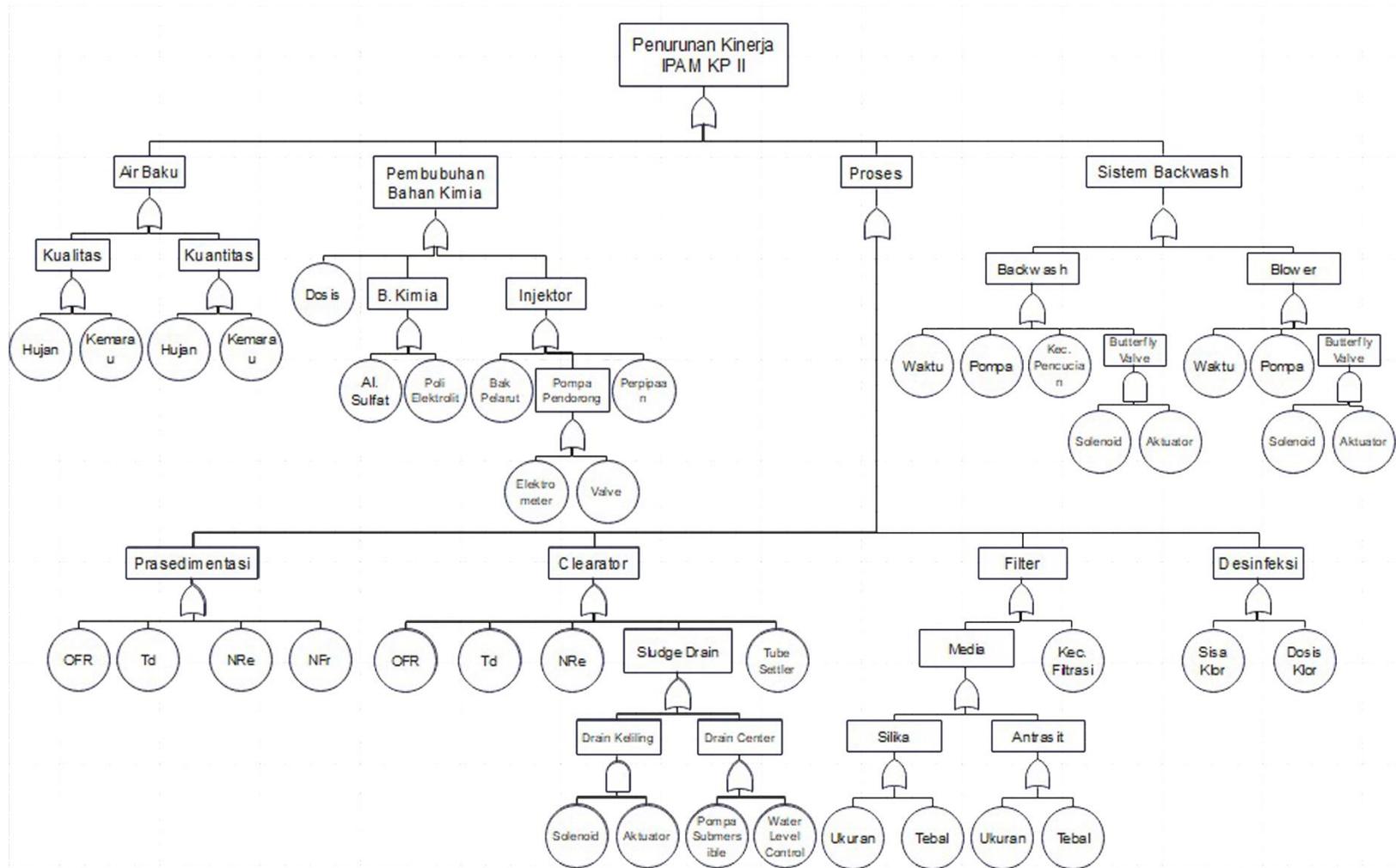
Nilai	Frekuensi		
	Frekuensi Proses (FP)	Frekuensi Kejadian (FK)	Keterangan
1	1 tahun	> 5 tahun	Tidak pernah terjadi
2	3 bulan - 1 tahun	1 - 5 tahun	Jarang terjadi
3	1 - 3 bulan	6 bulan - 1 tahun	Cukup sering terjadi
4	6 hari - 1 bulan	3 - 6 bulan	Sering terjadi
5	Harian	1 - 3 bulan	Selalu terjadi

*Likelihood* merupakan suatu kemungkinan risiko yang dapat timbul. Penentuan *likelihood* mengacu pada probabilitas yang akan diperoleh, dimulai dari akar masalah kemudian menuju top event (puncak kejadian) risiko. Kategori dan interval nilai *likelihood* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.9 Kategori dan Interval Nilai *Likelihood*

Kategori	Penjelasan	Range Nilai
<i>Rare</i>	Kegiatan yang dilakukan jarang dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan sekitar	<10 %
<i>Unlikely</i>	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan kecil dapat menimbulkan risiko terhadap lingkungan	11 - 30%
<i>Moderate</i>	Kegiatan yang dilakukan kemungkinan sedang menimbulkan risiko terhadap lingkungan	31 - 60%
<i>Likely</i>	Kegiatan yang dilakukan diperkirakan kemungkinan besar dapat menimbulkan risiko	61 - 80%
<i>Almost Certain</i>	Kegiatan yang dilakukan hampir menimbulkan risiko	>81 %

Sumber: The Government of Western Australian (1999)



Gambar 4.16 Diagram *Fault Tree*

Perhitungan probabilitas dilakukan dengan mengolah nilai frekuensi kejadian dan frekuensi proses yang telah ditentukan dengan rumus berikut :

$$P = \frac{Fp + Fk}{\sum(Fp + Fk)}$$

Dimana :

P : Probabilitas

Fp : Frekuensi Proses

Fk : Frekuensi Kejadian

Berikut merupakan contoh perhitungan probabilitas untuk sub komponen Kualitas hujan pada faktor air baku. Diperoleh *assessment* frekuensi proses harian (bobot : 5), dan frekuensi kejadian 6 bulan hingga 1 tahun (bobot : 3). Total keseluruhan pada frekuensi proses (Fp) yaitu 20 dan frekuensi kejadian (Fk) yaitu 12. Sehingga nilai probabilitasnya yaitu :

$$P = \frac{5 + 3}{20 + 12} = 25\%$$

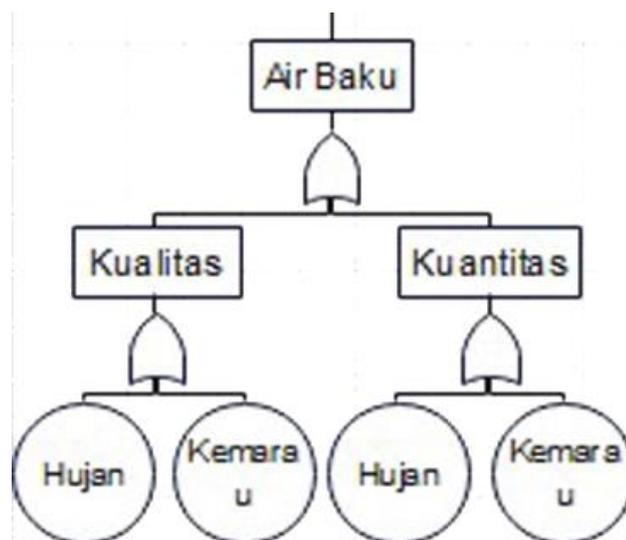
Hasil penentuan frekuensi dan perhitungan probabilitas pada setiap faktor dapat dilihat pada Tabel. 4.10, Tabel 4.11, Tabel 4.12 dan Tabel 4.13

- Air Baku

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor air baku dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Air Baku

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)
Air Baku	Kualitas	Hujan		A	5	3	25
		Kemarau		B	5	3	25
	Kuantitas	Hujan		C	5	3	25
		Kemarau		D	5	3	25
Total					20	12	100



Gambar 4.17 Potongan Diagram *Fault Tree* Air Baku

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis untuk faktor air baku. Berikut ini merupakan formula matematis untuk faktor air baku:

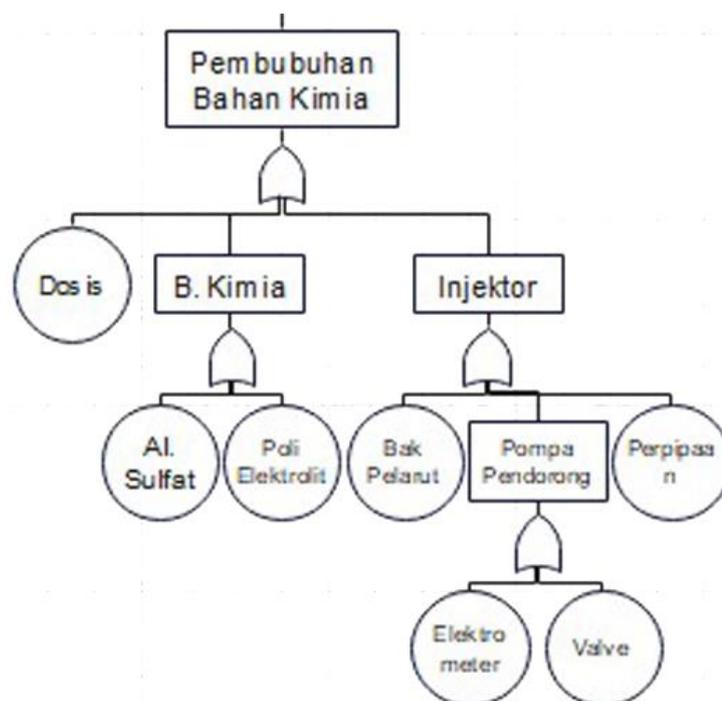
$$\begin{aligned}
P \text{ Air Baku} &= P \text{ kualitas} + P \text{ kuantitas} \\
&= \{P \text{ kualitas hujan} + P \text{ kualitas kemarau}\} + \{P \text{ kuantitas hujan} + P \text{ kuantitas kemarau}\} \\
&= \{0,25 + 0,25\} + \{0,25 + 0,25\} \\
&= 1
\end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut diketahui besaran nilai faktor air baku tersebut adalah sebesar 1 atau 100%, dimana persentase tersebut masuk kedalam kategori *Almost certain*. Sehingga dapat diketahui faktor air baku merupakan faktor saat dilakukan hampir menimbulkan risiko terhadap penurunan kinerja IPAM Karangpilang II.

- **Pembubuhan Bahan Kimia**  
 Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor pembubuhan bahan kimia dapat dilihat pada Tabel. 4.11

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Pembubuhan Bahan Kimia

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)	
Pembubuhan Bahan Kimia	Dosis Pembubuhan			E	5	5	17,86	
	Bahan Kimia	Alumunium Sulfat		F	5	5	17,86	
		Polielektrolit		G	5	3	14,29	
	Injektor	Bak Pelarut		H	5	2	12,50	
		Pompa Pendorong	Elektromotor		I	5	4	16,07
			Valve		J	5	1	10,71
		Perpipaan		K	5	1	10,71	
Total					35	21	100	



Gambar 4.18 Potongan Diagram *Fault Tree* Faktor Pembubuhan Bahan Kimia

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis untuk faktor pembubuhan bahan kimia. Berikut ini merupakan formula matematis untuk faktor pembubuhan bahan kimia:

$$\begin{aligned}
 P \text{ bubuk bahan kimia} &= P \text{ dosis pembubuhan} + P \text{ bahan kimia} + P \text{ injektor} \\
 &= \{P \text{ dosis pembubuhan}\} + \{P \text{ alumunium sulfat} + P \text{ polielektrolit}\} + \{P \\
 &\text{bak pelarut} + (P \text{ elektromotor} + P \text{ valve}) + P \text{ perpipaian}\} \\
 &= \{17,86\} + \{17,86 + 14,29\} + \{12,50 + (16,07 + 10,71) + 10,71\} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

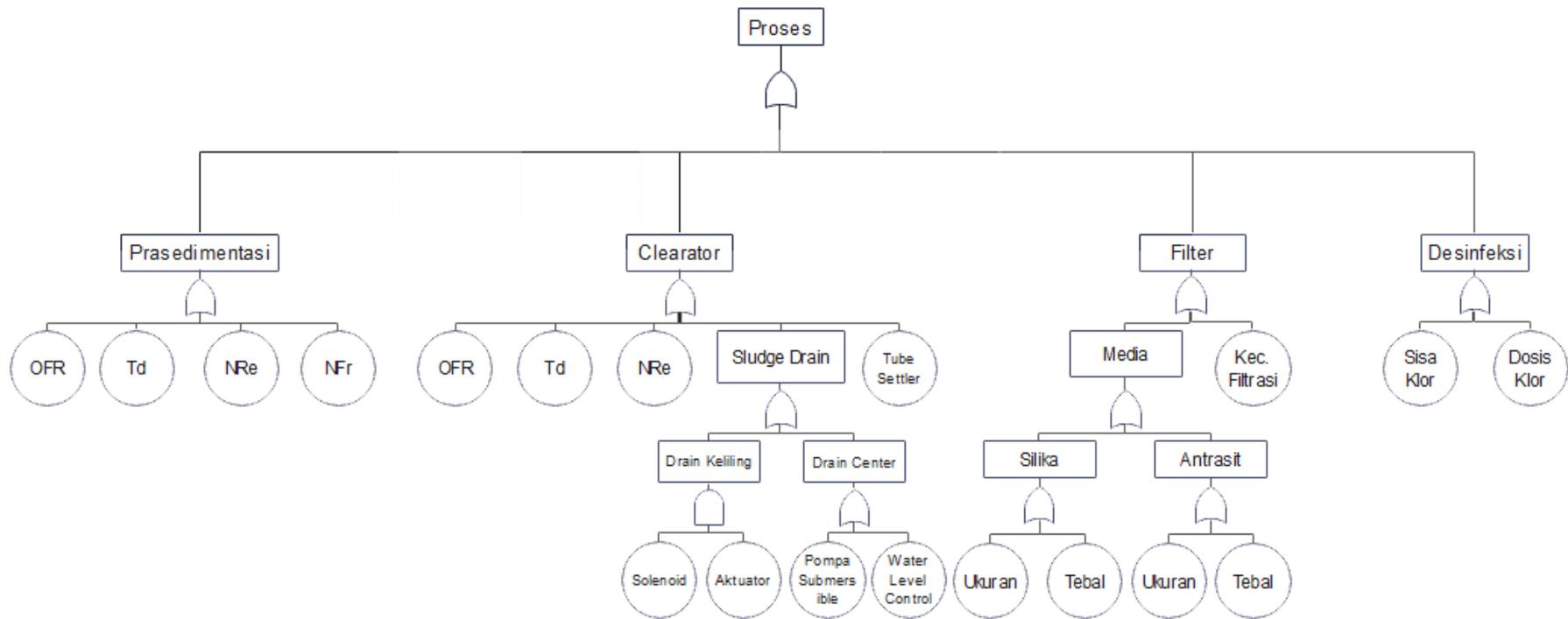
Dari perhitungan tersebut diketahui besaran nilai faktor pembubuhan bahan kimia tersebut adalah sebesar 1 atau 100%, dimana persentase tersebut masuk kedalam kategori *Almost certain*. Sehingga dapat diketahui faktor pembubuhan bahan kimia merupakan faktor saat dilakukan hampir menimbulkan risiko terhadap penurunan kinerja IPAM Karangpilang II.

- Proses Pengolahan

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor proses pengolahan dapat dilihat pada Tabel. 4.12

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Proses Pengolahan

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)	
Proses	Prasedimentasi	OFR			L	5	1	4	
		Td			M	5	1	4	
		Nre			N	5	5	7	
		NFr			O	5	5	7	
	Clearator		OFR			P	5	5	7
			Td			Q	5	1	4
			NRe			R	5	5	7
		Sludge Drain	Drain Keliling	Solenoid		S	5	5	7
				Aktuator		T	5	4	6
			Drain Center	Pompa Submersible		U	5	1	4
				Water Level Control		V	5	1	4
		Tube Settler			W	5	1	4	
	Filter	Media	Silika	Ukuran	X	5	1	4	
				Tebal	Y	5	1	4	
			Antrasit	Ukuran	Z	5	1	4	
				Tebal	AA	5	1	4	
		Kecepatan filtrasi			AB	5	1	4	
	Desinfeksi	Sisa klor			AC	5	4	6	
		Dosis klor			AD	5	4	6	
	Total						95	48	100



Gambar 4.19 Potongan Diagram *Fault Tree* Faktor Proses Pengolahan

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis untuk faktor proses pengolahan. Berikut ini merupakan formula matematis untuk faktor proses pengolahan:

$$\begin{aligned}
 P \text{ proses} &= P \text{ prasedimentasi} + P \text{ clearator} + P \text{ filter} + P \text{ desinfeksi} \\
 &= \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + P \text{ NFr}\} + \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + P \text{ SD} + P \text{ TS}\} \\
 &+ \{P \text{ Media} + P \text{ Backwash} + P \text{ Kec. Filtrasi}\} + \{P \text{ Sisa klor} + P \text{ Dosis klor}\} \\
 &= \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + P \text{ NFr}\} + \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + (P \text{ DK} + P \text{ DC}) \\
 &+ P \text{ TS}\} + \{(P \text{ Silika} + P \text{ Antrasit}) + P \text{ Kec. Filtrasi}\} + \{P \text{ Sisa klor} + P \text{ Dosis klor}\} \\
 &= \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + P \text{ NFr}\} + \{P \text{ OFR} + P \text{ Td} + P \text{ Nre} + ((P \text{ Solenoid} \times \\
 &P \text{ Actuator}) + (P \text{ Pompa submer} + P \text{ WLC})) + P \text{ TS}\} + \{((P \text{ ukuran} + P \text{ tebal}) + \\
 &(P \text{ ukuran} + P \text{ tebal})) + P \text{ Kec. Filtrasi}\} + \{P \text{ Sisa klor} + P \text{ Dosis klor}\} \\
 &= \{0,03 + 0,03 + 0,05 + 0,05\} + \{0,05 + 0,03 + 0,05 + ((0,05 \times 0,04) + (0,03 + \\
 &0,03)) + 0,03\} + \{((0,03 + 0,03) + (0,03 + 0,03)) + 0,03\} + \{0,04 + 0,04\} \\
 &= 0,16 + 0,222 + 0,15 + 0,08 \\
 &= 0,612
 \end{aligned}$$

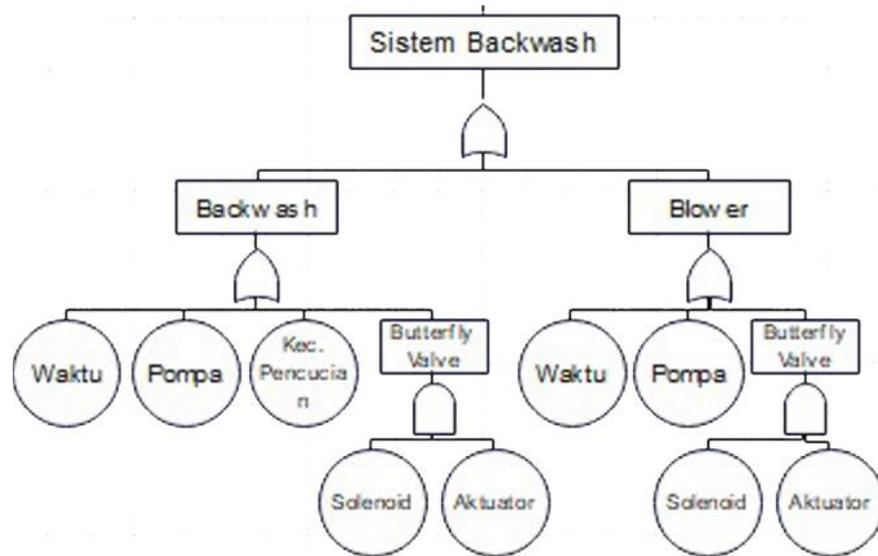
Dari perhitungan tersebut diketahui besaran nilai faktor proses pengolahan tersebut adalah sebesar 0,612 atau 61,2%, dimana persentase tersebut masuk kedalam kategori *Likely*. Sehingga dapat diketahui faktor proses pengolahan merupakan faktor saat dilakukan hampir menimbulkan risiko terhadap penurunan kinerja IPAM Karangpilang II.

- *Sistem Backwash*

Hasil penilaian frekuensi dan perhitungan probabilitas pada faktor sistem *backwash* dapat dilihat pada Tabel. 4.13

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Probabilitas Faktor Sistem Backwash

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kode FTA	FP	FK	Prob. Faktor (%)	
Sistem Backwash	Backwash	Waktu			AE	5	1	9	
		Pompa			AF	5	1	9	
		Kecepatan pencucian			AG	5	1	9	
		Butterfly Valve	Solenoid			AH	5	4	13
	Aktuator				AI	5	4	13	
	Blower	Waktu				AJ	5	1	9
		Pompa				AK	5	2	10
		Butterfly Valve	Solenoid			AL	5	4	13
			Aktuator			AM	5	4	13
	Total						45	22	100



Gambar 4.20 Potongan Diagram *Fault Tree* Faktor Sistem *Backwash*

Dari *Fault Tree Diagram* yang telah ditetapkan, kemudian dibuat sebuah formula matematis untuk faktor sistem *backwash*. Berikut ini merupakan formula matematis untuk faktor sistem *backwash*:

$$\begin{aligned}
 P \text{ S. Backwash} &= P \text{ backwash} + P \text{ blower} \\
 &= \{P \text{ Waktu} + P \text{ Pompa} + P \text{ Kec. Pencucian} + P \text{ Butterfly Valve}\} + \{P \text{ Waktu} + P \text{ Pompa} + P \text{ Butterfly Valve}\} \\
 &= \{P \text{ Waktu} + P \text{ Pompa} + P \text{ Kec. Pencucian} + (P \text{ Solenoid} \times P \text{ Aktuator})\} \\
 &\quad + \{P \text{ Waktu} + P \text{ Pompa} + (P \text{ Solenoid} \times P \text{ Aktuator})\} \\
 &= \{0,09 + 0,09 + 0,09 + (0,13 \times 0,13)\} + \{0,09 + 0,10 + (0,13 \times 0,13)\} \\
 &= 0,286 + 0,206 \\
 &= 0,493
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut diketahui besaran nilai faktor proses pengolahan tersebut adalah sebesar 0,493 atau 49,3%, dimana persentase tersebut masuk kedalam kategori *Moderate*. Sehingga dapat diketahui faktor sistem *backwash* merupakan faktor saat dilakukan kemungkinan sedang menimbulkan risiko terhadap penurunan kinerja IPAM Karangpilang II.

#### 4.6.2 Perhitungan Consequence

*Consequence* merupakan suatu dampak atau akibat dari suatu kejadian. Perhitungan nilai *consequence* diambil dari setiap faktor pada *Fault Tree Diagram*. Kemudian didapatkan kategori *consequence* pada setiap faktor yang dinilai. Berikut merupakan tabel kategori *consequence* yang disajikan pada Tabel berikut.

Tabel 4.14 Kategori dan Interval Nilai *Consequence*

Level	Kategori	Deskripsi	Rentang Nilai
1	<i>Negligible</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi tidak mengkhawatirkan	≤10%
2	<i>Low</i>	Konsekuensi risiko kecil namun perlu dilakukan usaha penanganan mengurangi risiko yang terjadi	10 - 30%

Level	Kategori	Deskripsi	Rentang Nilai
3	<i>Medium</i>	Konsekuensi risiko sedang, maka dari itu perlu dilakukan pengelolaan berdasarkan prosedur normal	31 - 60%
4	<i>High</i>	Konsekuensi risiko relatif tinggi terhadap lingkungan, maka dari itu perlu dilakukakn pengelolaan secara intensif	61 - 80%
5	<i>Extreme</i>	Konsekuensi risiko yang terjadi sangat besar	≥ 80%

(Sumber: Government of Western Australian (1999))

Dalam menentukan formula *consequence*, mengacu pada data monitoring perbaikan mekanikal, data hasil laboratorium, dan data *logsheet* divisi produksi. Formula dan data yang digunakan dalam perhitungan nilai *consequence* pada setiap faktor risiko dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.15 Formula dan Sumber Data setiap Faktor Risiko

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Formula yang digunakan	Sumber Data
Air Baku	Kualitas	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air baku tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas air baku total}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Kuantitas	$\frac{\Sigma \text{Debit air baku yang kurang dari rata - rata}}{\Sigma \text{Debit rencana air baku total}} \times 100\%$	Data Logsheet Produksi
Injeksi Bahan Kimia	Dosis Pembubuhan	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air baku tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas air baku total}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Bahan Kimia	$\frac{\Sigma \text{Periode penggunaan bahan kimia pembantu}}{\Sigma \text{Total periode penggunaan bahan kimia pembantu}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Injektor	$\frac{\Sigma \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\Sigma \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$	Data perbaikan mekanikal
Proses	Prasedimentasi	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air produksi unit tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Clearator	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air produksi unit tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Filter	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air produksi unit tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$	Data laboratorium
	Desinfeksi	$\frac{\Sigma \text{Kualitas air produksi unit tidak sesuai}}{\Sigma \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$	Data laboratorium
Sistem Backwash	Backwash	$\frac{\Sigma \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\Sigma \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$	Data perbaikan mekanikal
	Blower	$\frac{\Sigma \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\Sigma \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$	Data perbaikan mekanikal

Angka dari perhitungan *consequence* ditentukan berdasarkan data yang tidak sesuai dengan standar atau yang belum mencapai kondisi ideal. Berikut merupakan hasil perhitungan besaran *consequence*:

### Faktor Air Baku

- Kualitas  $= \frac{\sum \text{Kualitas air baku tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas air baku total}} \times 100\%$   
 $= \frac{11}{24} \times 100\%$   
 $= 45,83\%$  (Medium)
- Kuantitas  $= \frac{\sum \text{Debit air baku yang kurang dari rata-rata}}{\sum \text{Debit rencana air baku total}} \times 100\%$   
 $= \frac{7}{96} \times 100\%$   
 $= 7,29\%$  (Negligible)

### Faktor Pembubuhan Bahan Kimia

- Dosis Pembubuhan  $= \frac{\sum \text{Kualitas air baku tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas air baku total}} \times 100\%$   
 $= \frac{11}{24} \times 100\%$   
 $= 45,83\%$  (Medium)
- Bahan Kimia  $= \frac{\sum \text{Periode penggunaan bahan kimia pembantu}}{\sum \text{Total periode penggunaan bahan kimia pembantu}} \times 100\%$   
 $= \frac{12}{24} \times 100\%$   
 $= 50\%$  (Medium)
- Injektor  $= \frac{\sum \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\sum \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$   
 $= \frac{7}{24} \times 100\%$   
 $= 29\%$  (Low)

### Faktor Proses Pengolahan

- Prasedimentasi  $= \frac{\sum \text{Kualitas air produksi tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$   
 $= \frac{9}{24} \times 100\%$   
 $= 37,5\%$  (Medium)
- Clearator  $= \frac{\sum \text{Kualitas air produksi tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$ 
  - $= \frac{24}{24} \times 100\%$
  - $= 100\%$  (Extreme)
- Filter  $= \frac{\sum \text{Kualitas air produksi tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$ 
  - $= \frac{19}{24} \times 100\%$
  - $= 79,16\%$  (High)
- Desinfeksi  $= \frac{\sum \text{Kualitas air produksi tidak sesuai}}{\sum \text{Kualitas standar air produksi unit}} \times 100\%$ 
  - $= \frac{8}{24} \times 100\%$
  - $= 33,33\%$  (Medium)

### Faktor Sistem Backwash

- Backwash  $= \frac{\sum \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\sum \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$   
 $= \frac{13}{24} \times 100\%$   
 $= 54,16\%$  (Medium)
- Blower  $= \frac{\sum \text{Periode terjadi error dalam bulan}}{\sum \text{Total lama periode dalam bulan}} \times 100\%$

$$= \frac{11}{24} \times 100\%$$

$$= 45,83\% \quad (\text{Medium})$$

Setelah dilakukan perhitungan, diketahui nilai *consequence* dengan kategori dampak terbesar terdapat pada faktor proses pengolahan pada sub faktor *clearator* dengan kategori *Extreme*. Kategori tertinggi kedua yaitu kategori *Medium* terdapat pada faktor air baku dengan sub faktor kualitas, faktor pembubuhan bahan kimia dengan sub faktor dosis pembubuhan dan bahan kimia, faktor proses pada sub faktor prasedimentasi dan desinfeksi serta faktor sistem backwash pada sub faktor *backwash* dan *blower*. Kategori terendah yaitu kategori *Negligible* terdapat pada faktor air baku dengan sub faktor kuantitas dan faktor pembubuhan bahan kimia dengan sub faktor *injector*.

#### 4.6.3 Pemetaan Risiko

Setelah melakukan perhitungan dan menentukan kategori dari interval nilai *consequence* dan *likelihood*, kemudian dilakukan perhitungan risiko. Perhitungan risiko dirumuskan sebagai perkalian antara nilai *likelihood* dengan *consequence*. Perhitungan risiko dapat diukur berdasarkan hubungan antara probabilitas atau kemungkinan dan dampak yang terjadi dari suatu kegiatan (AS/NZS 4360, 1999). Secara kuantitatif dapat dirumuskan seperti berikut.

$$\text{Risk} = \text{Likelihood} \times \text{Consequences}$$

Dimana:

*Likelihood* = Penjelasan kualitatif mengenai probabilitas suatu risiko

*Consequences* = Dampak terjadinya suatu risiko

Pemetaan nilai kategori risiko dilakukan dengan memetakan nilai *consequence* pada sumbu X dan nilai *likelihood* pada sumbu Y. Berikut ini merupakan pemetaan risiko pada faktor air baku.

Tabel 4.16 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Air Baku

Air Baku		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Likelihood	Almost Certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial
				1. Kualitas hujan 2. Kualitas kemarau		1. Kuantitas hujan 2. Kuantitas kemarau
	Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial
	Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
	Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
	Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Berdasarkan hasil pemetaan nilai kategori risiko air baku, pada sub faktor kualitas air baku termasuk kedalam kategori *high*. Hal ini kemungkinan dapat terjadi dikarenakan musim hujan dan musim kemarau yang memengaruhi kualitas air baku. Air baku yang bersifat fluktuatif secara signifikan sangat berpengaruh pada kualitas air baku. Diketahui data parameter kekeruhan air baku tertinggi terjadi pada musim hujan bertepatan pada Bulan Maret 2021 dengan nilai kekeruhan sebesar 302 NTU. Sementara data parameter kekeruhan air baku terendah terjadi pada musim kemarau yang bertepatan pada Bulan September 2020 dengan nilai kekeruhan sebesar 10,3 NTU. Pada sub faktor ini, perlu dilakukan pengelolaan risiko dengan rencana yang detail oleh manajemen pada tingkat senior karena konsekuensi yang dapat membahayakan sistem.

Pada sub faktor kuantitas air baku, didapatkan nilai kategori risiko *Trivial*. Diketahui, data debit air baku yang berada di bawah debit rencana terdapat 7 data dari 96 data yang diambil

dengan nilai debit terendah sebesar 2.688 L/s. Sehingga sub faktor kuantitas air baku dapat dikelola dengan mudah dan pemecahan masalah yang tepat.

Selanjutnya, dilakukan pemetaan risiko pada faktor pembubuhan bahan kimia. Berikut ini merupakan pemetaan risiko pada faktor pembubuhan bahan kimia.

Tabel 4.17 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Pembubuhan Bahan Kimia

Pembubuhan Bahan Kimia		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Likelihood	Almost Certain	Severe	Severe	High 1. Dosis Pembubuhan 2. Alumunium sulfat 3. Polielektrolit	Major 1. Bak Pelarut 2. Elektromotor 3. Valve 4. Perpipaan	Trivial 1. Bak Pelarut 2. Elektromotor 3. Valve 4. Perpipaan
		Likely	Severe	High	Major	Significant
	Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
	Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
	Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Berdasarkan hasil pemetaan nilai kategori risiko pembubuhan bahan kimia, pada sub faktor dosis pembubuhan dan bahan kimia termasuk kedalam kategori *High*. Kualitas air sangat berpengaruh pada dosis pembubuhan. Jika air baku tidak sesuai dan melebihi nilai parameter kekeruhan sebesar 100 NTU, maka dosis penambahan bahan kimia tidak akan sesuai dengan penambahan dosis yang telah direncanakan. Hal ini juga berpengaruh pada sub faktor bahan kimia. Pada sub faktor bahan kimia juga termasuk kedalam kategori *High*. Perbedaan musim membuat air baku mengalami fluktuasi yang cukup tinggi dan diperlukan bahan kimia tambahan yang menyebabkan penggunaan bahan kimia alumunium sulfat dan polielektrolit tidak memenuhi kebutuhan penurunan kekeruhan. Sehingga pada sub faktor dosis pembubuhan dan sub faktor bahan kimia memerlukan pengelolaan risiko dengan rencana yang detail oleh manajemen pada tingkat senior karena konsekuensi yang dapat membahayakan sistem.

Pada sub faktor injector, didapatkan nilai kategori risiko *Major*. Berdasarkan data monitoring perbaikan mekanikal, diketahui terdapat 7 kejadian *error* dalam periode dua tahun atau 24 bulan. Sehingga pada sub faktor injector diperlukan perencanaan tanggung jawab dan pengelolaan risiko yang dipantau oleh manajemen senior dikarenakan konsekuensi yang tidak membahayakan namun dapat memperburuk sistem.

Kemudian, dilakukan pemetaan risiko pada faktor proses pengolahan. Berikut ini merupakan pemetaan risiko pada faktor proses pengolahan.

Tabel 4.18 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Proses Pengolahan

Proses		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Likelihood	Almost Certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial
	Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial

Proses	Consequence				
	Extreme	High	Medium	Low	Negligible
	1. Clearator (OFR, Td, Nre, Solenoid, Aktuator, Pompa Submersible, Water Level Control, Tube settler)	1. Filter (Ukuran silika, Tebal silika, Ukuran antrasit, Tebal Antrasit, Kecepatan filtrasi)	1. Prasedimentasi (OFR, Td, Nre, NFr)  2. Desinfeksi (Sisa klor dan Dosis klor)		
Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Kondisi faktor risiko proses pada unit prasedimentasi, clearator, dan filter dapat diidentifikasi menggunakan data efluen kekeruhan unit. Sementara pada proses desinfeksi dapat diidentifikasi menggunakan data klor bebas pada air produksi. Pada unit prasedimentasi memiliki standar efluen nilai kekeruhan maksimum sebesar 100 NTU. Sementara pada unit clearator memiliki standar efluen nilai kekeruhan maksimum sebesar 3 NTU. Pada unit filter memiliki standar efluen nilai kekeruhan maksimum sebesar 1 NTU. Pada unit reservoir sebelum menuju konsumen, air produksi memiliki standar efluen nilai sisa klor berkisar antara 0,2 – 1 ppm.

Berdasarkan hasil pemetaan nilai kategori risiko proses pengolahan, pada sub faktor clearator termasuk kedalam kategori *severe* dan filter termasuk kedalam kategori *High*. Pada unit clearator, tidak terdapat nilai kekeruhan efluen yang memenuhi standar yaitu dibawah 3 NTU dalam periode Maret 2020 hingga Februari 2022. Sementara pada unit filter, terdapat 19 bulan yang tidak memenuhi standar yaitu dibawah 1 NTU dalam periode Maret 2020 hingga Februari 2022. Sehingga pada unit clearator diperlukan pengelolaan risiko dengan rencana yang detail oleh manajemen. Sementara pada unit filter diperlukan penelitian yang lebih mendetail dan perencanaan manajemen pada tingkat senior karena konsekuensi yang dapat membahayakan sistem.

Pada sub faktor prasedimentasi dan desinfeksi, diketahui termasuk kedalam kategori *Major*. Pada unit prasedimentasi, diketahui terdapat 9 bulan nilai kekeruhan efluen yang tidak memenuhi standar yaitu dibawah 100 NTU dalam periode Maret 2020 hingga Februari 2022. Sementara pada unit desinfeksi, terdapat 8 bulan yang tidak memenuhi standar sisa klor pada air produksi yaitu antara 0,2 hingga 1 ppm dalam periode Maret 2020 hingga Februari 2022. Sehingga pada unit prasedimentasi dan desinfeksi diperlukan perencanaan tanggung jawab dan pengelolaan risiko yang dipantau oleh manajemen senior dikarenakan konsekuensi yang tidak membahayakan namun dapat memperburuk sistem.

Pada faktor sistem *backwash*, berikut ini merupakan pemetaan risiko pada faktor sistem *backwash*.

Tabel 4.19 Hasil Pemetaan Nilai Kategori Risiko Sistem *Backwash*

Sistem Backwash		Consequence				
		Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Likel	Almost Certain	Severe	Severe	High	Major	Trivial

Sistem Backwash	Consequence				
	Extreme	High	Medium	Low	Negligible
Likely	Severe	High	Major	Significant	Trivial
Moderate	High	Major	Significant	Moderate	Trivial
			1. Backwash (Waktu, Pompa, Kec. Pencucian, Selenoid, Aktuator) 2. Blower (Waktu, Pompa, Selenoid, Aktuator)		
Unlikely	Major	Significant	Moderate	Low	Trivial
Rare	Significant	Moderate	Low	Trivial	Trivial

Kondisi faktor risiko sistem *backwash* pada sub faktor *backwash* dan *blower* dapat diidentifikasi menggunakan data perbaikan monitoring. Berdasarkan hasil pemetaan nilai kategori risiko sistem *backwash*, kedua sub faktor yaitu *backwash* dan *blower* termasuk kedalam kategori *Significant*. Menurut data perbaikan monitoring, pada sub faktor *backwash* terdapat kejadian *error* dalam 13 bulan pada periode Maret 2020 hingga Februari 2022. Sehingga pada sub faktor *backwash* diperlukan alokasi tanggung jawab manajemen yang spesifik agar risiko dapat ditanggulangi dengan benar.

Rekap pemetaan kategori risiko semua faktor risiko dan perangnya dapat dilihat pada Tabel 4.20 dan Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.20 Rekap Pemetaan Kategori Risiko Seluruh Faktor

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kategori Probabilitas	Kategori Consequence	Kategori Risiko	
Air Baku	Kualitas	Hujan			Almost Certain	Medium	High	
		Kemarau			Almost Certain	Medium	High	
	Kuantitas	Hujan			Almost Certain	Negligible	Trivial	
		Kemarau			Almost Certain	Negligible	Trivial	
Injeksi Bahan Kimia	Dosis Pembubuhan				Almost Certain	Medium	High	
	Bahan Kimia	Alumunium Sulfat			Almost Certain	Medium	High	
		Polielektrolit			Almost Certain	Medium	High	
	Injektor	Bak Pelarut				Almost Certain	Low	Major
		Pompa Pendorong	Elektromotor			Almost Certain	Low	Major
			Valve			Almost Certain	Low	Major
		Perpipaan				Almost Certain	Low	Major

Proses	Prasedimentasi	OFR			Likely	Medium	Major	
		Td			Likely	Medium	Major	
		Nre			Likely	Medium	Major	
		NFr			Likely	Medium	Major	
	Clearator	OFR			Likely	Extreme	Severe	
		Td			Likely	Extreme	Severe	
		NRe			Likely	Extreme	Severe	
		Sludge Drain	Drain Keliling	Solenoid	Likely	Extreme	Severe	
				Aktuator	Likely	Extreme	Severe	
			Drain Center	Pompa Submersible	Likely	Extreme	Severe	
		Water Level Control		Likely	Extreme	Severe		
	Tube Settler			Likely	Extreme	Severe		
	Filter	Media	Silika	Ukuran	Likely	High	High	
				Tebal	Likely	High	High	
			Antrasit	Ukuran	Likely	High	High	
				Tebal	Likely	High	High	
		Kecepatan filtrasi			Likely	High	High	
Desinfeksi	Sisa klor			Likely	Medium	Major		
	Dosis klor			Likely	Medium	Major		
Sistem Backwash	Backwash	Waktu			Moderate	Medium	Significant	
		Pompa			Moderate	Medium	Significant	
		Kecepatan pencucian			Moderate	Medium	Significant	
		Butterfly Valve	Solenoid			Moderate	Medium	Significant
			Aktuator			Moderate	Medium	Significant
		Blower	Waktu			Moderate	Medium	Significant
	Pompa				Moderate	Medium	Significant	
	Butterfly Valve		Solenoid			Moderate	Medium	Significant
			Aktuator			Moderate	Medium	Significant

Tabel 4.21 Rekap Peringkat Nilai Risiko

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kategori Risiko	Nilai Probability	Nilai Consequence	Nilai Risiko		
Proses	Clearator	OFR			Severe	0,612	1	0,61		
		Td			Severe	0,612	1	0,61		
		NRe			Severe	0,612	1	0,61		
		Sludge Drain	Drain Keliling	Solenoid			Severe	0,612	1	0,61
				Aktuator			Severe	0,612	1	0,61
			Drain Center	Pompa Submersible			Severe	0,612	1	0,61
				Water Level Control			Severe	0,612	1	0,61
		Tube Settler				Severe	0,612	1	0,61	
Injeksi Bahan Kimia	Bahan Kimia	Alumunium Sulfat			High	1	0,5	0,5		
		Polielektrolit			High	1	0,5	0,5		
Proses	Filter	Media	Silika	Ukuran	High	0,612	0,79	0,48		
				Tebal	High	0,612	0,79	0,48		
			Antrasit	Ukuran	High	0,612	0,79	0,48		
				Tebal	High	0,612	0,79	0,48		
		Kecepatan filtrasi			High	0,612	0,79	0,48		
Air Baku	Kualitas	Hujan			High	1	0,45	0,45		
		Kemarau			High	1	0,45	0,45		
Injeksi Bahan Kimia	Dosis Pembubuhan				High	1	0,45	0,45		
	Injektor	Bak Pelarut			Major	1	0,29	0,29		
		Pompa Pendorong	Elektro motor			Major	1	0,29	0,29	
			Valve			Major	1	0,29	0,29	
		Perpipaan				Major	1	0,29	0,29	
Sistem	Backwash	Waktu			Significant	0,493	0,54	0,27		

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kategori Risiko	Nilai Probability	Nilai Consequence	Nilai Risiko	
Back wash		Pompa			Significant	0,493	0,54	0,27	
		Kecepatan pencucian			Significant	0,493	0,54	0,27	
		Butterfly Valve	Solenoid			Significant	0,493	0,54	0,27
			Aktuator			Significant	0,493	0,54	0,27
Proses	Prasedimentasi	OFR			Major	0,612	0,37	0,23	
		Td			Major	0,612	0,37	0,23	
		Nre			Major	0,612	0,37	0,23	
		NFr			Major	0,612	0,37	0,23	
Sistem Back wash	Blower	Waktu			Significant	0,493	0,45	0,22	
		Pompa			Significant	0,493	0,45	0,22	
		Butterfly Valve	Solenoid			Significant	0,493	0,45	0,22
			Aktuator			Significant	0,493	0,45	0,22
Injeksi Bahan Kimia	Desinfeksi	Sisa klor			Major	0,612	0,33	0,20	
		Dosis klor			Major	0,612	0,33	0,20	
Air Baku	Kuantitas	Hujan			Trivial	1	0,07	0,07	
		Kemarau			Trivial	1	0,07	0,07	

#### 4.7 Upaya Mitigasi Risiko

Setelah dilakukan analisis perhitungan dan pemetaan risiko menggunakan metode *Fault Tree Analysis*, ditemukan nilai risiko dengan kategori terbesar yaitu *severe* pada factor risiko proses dengan subfaktor *clearator*. Kategori risiko terbesar kedua yaitu *high* pada factor air baku dengan subfaktor kualitas air, factor pembubuhan bahan kimia dengan subfaktor dosis pembubuhan dan bahan kimia dan factor proses dengan sub faktor filter. Kategori risiko terbesar ketiga yaitu *major* pada factor proses dengan subfaktor prasedimentasi dan desinfeksi. Kategori risiko terbesar keempat yaitu *significant* pada faktor proses sistem *backwash* dengan subfaktor *backwash* dan *blower*. Sementara kategori risiko terkecil yaitu *trivial* pada factor air baku dengan subfaktor kuantitas air dan factor pembubuhan bahan kimia dengan subfaktor injector.

Pada kajian penelitian ini, mitigasi diprioritaskan berdasarkan kategori risiko terbesar. Sehingga diketahui kategori *severe* merupakan kategori risiko yang perlu dilakukan perencanaan mitigasi paling awal dikarenakan kategori ini yang berperan penting dalam

penurunan kinerja IPAM Karangpilang II. Kategori terbesar pada kajian analisis ini yaitu *severe* pada factor proses dengan subfaktor *clearator* dengan sub factor level 2 (OFR, Td, NRe, NFr, *Sludge Drain, Tube Settler*).

Kondisi risiko dapat diidentifikasi berdasarkan efluen kekeruhan suatu unit. Berdasarkan Supervisor IPAM Karangpilang II, standar efluen maksimum pada unit *clearator* yaitu sebesar 3 NTU. Pada kondisi eksisting, *clearator* menghasilkan efluen kekeruhan melebihi standar efluen maksimum yaitu 3 NTU dalam periode yang telah ditentukan (Maret 2020 – Februari 2022). Hal ini terjadi karena *clearator* yang berfungsi untuk mengendapkan partikel flokulen dari proses koagulasi dan flokulasi masih memiliki nilai kekeruhan yang tinggi dari air baku sehingga kinerja mengalami beban kerja yang lebih berat. Terdapat nilai efisiensi penurunan kekeruhan yang masih tidak memenuhi standar, dengan nilai efisiensi terendah terjadi pada Bulan September 2020 yaitu sebesar 39%. Sementara nilai efisiensi tertinggi terjadi pada Bulan Januari 2021 dan Februari 2021 yaitu sebesar 95%. Total bulan yang tidak memenuhi standar efisiensi penurunan kekeruhan yaitu 14 bulan. Nilai probabilitas pada factor proses *clearator* sebesar 0,22 atau 22%. Sehingga prioritas untuk mitigasi dilakukan pada sembilan sub factor pada factor proses *clearator*.

Penentuan mitigasi dilakukan sesuai prioritas kategori risiko tertinggi dan didukung oleh peraturan terkait beserta literature. Kategori tertinggi yang paling berpengaruh pada penurunan kinerja IPAM Karangpilang II adalah kategori *severe*. Nilai probabilitas pada faktor proses (sub faktor *clearator*) yaitu sebesar 0.22 atau 22%. Maka prioritas mitigasi dilakukan pada delapan sub faktor, yaitu OFR, Td, NRe, Solenoid, Aktuator, Pompa submersible, *Water level control*, dan *Tube settler*. Sehingga mitigasi yang perlu dilakukan yaitu:

- Berdasarkan Droste and Gehr (2019), standar beban permukaan (OFR) pada *clearator* adalah  $58 - 290 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ . Namun pada kondisi eksisting, beban permukaan *clearator* IPAM Karangpilang II yaitu sebesar  $11,25 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{jam}$ . Diketahui beban permukaan *clearator* IPAM Karangpilang II tidak memenuhi standar sehingga menyebabkan kurang optimalnya laju pengendapan flok. Sehingga mitigasi yang dapat dilakukan yaitu mengatur dan mengecek debit dengan menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak.
- Berdasarkan Nota desain IPAM Karangpilang II, standar waktu detensi (Td) pada *clearator* adalah 0,4-1,7 jam. Pada kondisi eksisting, waktu detensi unit *clearator* yaitu 0,94 jam. Sehingga diketahui waktu detensi eksisting *clearator* IPAM Karangpilang II telah memenuhi standar. Waktu detensi yang tidak memenuhi standar dapat menyebabkan kurang optimalnya laju pengendapan flok.
- Berdasarkan SNI 6774:2008, standar bilangan *Reynold* pada *clearator* berbentuk lingkaran dengan aliran *upflow* adalah  $<230$  (Geyers dalam Anjar, 2015). Namun, pada kondisi eksisting, nilai bilangan *Reynold* unit *clearator* yaitu sebesar 11369,735. Bilangan *Reynold* yang tidak memenuhi standar dapat mengakibatkan aliran yang turbulen pada unit *clearator*. Sehingga mitigasi yang dapat dipersiapkan yang sesuai dengan SNI 6775:2008 mengenai Tata Cara Pengoperasian dan Pemeliharaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air yaitu mengatur dan mengecek debit dengan menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak agar aliran air tetap laminar.
- Pada *actuator, solenoid, pompa submersible dan water level control* perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi setiap hari sekali karena pada alat tersebut sering terjadi kerusakan serta menyiapkan suku cadang agar penanganan dapat cepat dilakukan saat terjadi error dan tidak mengganggu kinerja unit *clearator*.
- Pada *tube settler*, perlu dilakukan pengecekan desain serta melakukan penggantian jenis bahan material yang digunakan menjadi lebih baik dan sesuai agar penurunan kekeruhan dapat terjadi lebih optimal.

Tabel 4.22 Mitigasi Penurunan Kinerja IPAM Karangpilang II

Faktor Risiko	Sub Faktor Level 1	Sub Faktor Level 2	Sub Faktor Level 3	Sub Faktor Level 4	Kategori Risiko	Rekomendasi Tindakan Mitigasi	
Proses	Clearator	OFR			Severe	Mengatur dan mengecek debit dengan menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak	
		Td			Severe	Mengatur dan mengecek debit dengan menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak	
		NRe			Severe	Mengatur dan mengecek debit dengan menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak	
		Sludge Drain	Drain Keliling	Solenoid		Severe	Memantau dan mengevaluasi kinerja solenoid setiap hari sekali serta menyiapkan suku cadang agar penanganan cepat dapat dilakukan saat terjadi error
				Aktuator		Severe	Memantau dan mengevaluasi kinerja aktuator setiap hari sekali serta menyiapkan suku cadang agar penanganan cepat dapat dilakukan saat terjadi error
			Drain Center	Pompa Submersible		Severe	Memantau dan mengevaluasi kinerja pompa submersible secara berkala setiap bulan serta merencanakan perawatan pompa
				Water Level Control		Severe	Memantau dan mengevaluasi kinerja water level control secara berkala setiap bulan serta merencanakan perawatan
		Tube Settler			Severe	Melakukan pengecekan desain dan melakukan penggantian jenis bahan material	

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian dan analisis dari kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Kinerja unit pengolahan pada IPAM Karangpilang II memiliki ketidaksesuaian efisiensi penyisihan kekeruhan. Dalam waktu periode kajian yaitu Bulan Maret 2020 hingga Februari 2022, diketahui pada unit sedimentasi tidak terdapat data yang memenuhi standar penurunan efisiensi kekeruhan yaitu sebesar 80%. Sementara pada unit clearator, terdapat 14 bulan dari total waktu periode 24 bulan yang tidak memenuhi standar penurunan efisiensi kekeruhan yaitu sebesar 90%. Kemudian pada unit filter, tidak terdapat data yang memenuhi standar penurunan efisiensi kekeruhan yaitu sebesar 90%.
2. Kualitas air produksi yang diolah oleh IPAM Karangpilang II pada parameter kekeruhan, TDS, total coliform dan pH telah memenuhi standar ketentuan Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Namun, pada parameter sisa klor diketahui terdapat 8 bulan dalam periode waktu Bulan Maret 2020 hingga Februari 2022 yang tidak memenuhi ketentuan dalam Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 736 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum.
3. Pada pemetaan besaran nilai risiko kinerja pengolahan air IPAM Karangpilang II, diketahui pada faktor air baku didapatkan kategori risiko *High* pada sub faktor kualitas dan *Trivial* pada sub faktor kuantitas. Pada faktor pembubuhan bahan kimia, didapatkan kategori risiko *High* pada sub faktor dosis pembubuhan dan bahan kimia. Sementara pada sub faktor injector didapatkan kategori risiko *Major*. Pada faktor proses pengolahan, didapatkan kategori risiko *Severe* pada sub faktor *Clearator*. Sementara pada sub faktor prasedimentasi dan desinfeksi didapatkan kategori risiko *Major*. Kemudian pada sub faktor filter didapatkan kategori risiko *High*. Pada faktor sistem *backwash*, didapatkan kategori risiko *Significant* untuk sub faktor *backwash* dan *blower*. Sehingga didapatkan kategori risiko tertinggi terdapat pada faktor proses pengolahan dengan sub faktor *clearator*.
4. Mitigasi pada kinerja IPAM Karangpilang II diprioritaskan pada kategori risiko tertinggi, yaitu kategori *severe* pada faktor risiko proses dan sub faktor 1 *clearator* serta sub faktor 2 yaitu: pada beban permukaan (OFR) perlu mengatur dan mengecek debit menggunakan alat flow meter secara berkala pada inlet bak. Pada bilangan *Reynold* (NRe) perlu mengatur debit dan mengecek debit secara berkala agar tidak terjadi aliran yang turbulen. Pada *solenoid* dan *actuator* perlu melakukan pemantauan dan mengevaluasi kinerja setiap hari sekali serta menyiapkan suku cadang. Pada pompa *submersible* dan *water level control* perlu melakukan pemantauan dan mengevaluasi kinerja setiap bulan. Pada tube settler perlu melakukan pengecekan desain dan penggantian jenis bahan material.

### 5.2 Saran

Saran dari kajian dan analisis yang telah dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan *range* waktu data penelitian sebaiknya lebih luas dan perlu dilakukan pemilihan parameter data yang sesuai dengan kebutuhan studi literature.
2. Data sekunder yang digunakan sebaiknya menggunakan data minimum dan data maksimum agar hasil lebih detail dan sesuai.

3. Dalam upaya mitigasi yang disarankan, perlu adanya penelitian tambahan yang lebih lanjut dan serius agar upaya mitigasi lebih sesuai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abuzar, S. S., & Pramono, R. (2014). Efektivitas Penurunan Keekeruhan Dengan *Direct Filtration* Menggunakan Saringan Pasir Cepat (SPC). *Prosiding SNSTL I 2014*, Padang: 11 September 2014. Hal. 89-95.
- Adelina, R., Winarsih, & Setyorini, H. A. (2012). Penilaian Air Minum Isi Ulang Berdasarkan Parameter Fisika dan Kimia di dan luar Jabodetabek Tahun 2011. *Jurnal Kefarmasian Indonesia*, 2(2), 48–53.
- Afif, F., Erly, & Endinaldi. (2015). Identifikasi Bakteri *Escherichia Coli* pada Air Minum Isi Ulang yang Diproduksi Depot Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Padang Selatan. *Jurnal Kesehatan Andalas*, 4(2), 376–380.
- Anggraini, F. N. (2021). *KAJIAN RISIKO KINERJA IPAM KARANGPILANG I KOTA SURABAYA DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS ( FTA ) [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Anjar, R. R. (2015). *Evaluasi Efisiensi Kinerja Unit Cleator di Instalasi PDAM Ngagel I Surabaya [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- AS/ NZS 4360. (1999). Risk Management Standard AS/NZS 4360. *Standards Association of Australia*, Sydney, 52.  
[http://www.epsonet.eu/mediapool/72/723588/data/2017/AS\\_NZS\\_4360-1999\\_Risk\\_management.pdf](http://www.epsonet.eu/mediapool/72/723588/data/2017/AS_NZS_4360-1999_Risk_management.pdf)
- Bastuti, S. (2019). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) Untuk Menurunkan Tingkat Risiko Kecelakaan Kerja (PT. Berkah Mirza Insani). *Teknologi*, 2(1), 48–52.
- Budiyono, & Sumardiono, S. (2013). *Teknik Pengolahan Air*. Graha Ilmu.
- Droste, R., Gehr, R. 2019. “Theory And Practice of Water and Wastewater Treatment: Second Edition”. USA: Wiley
- Dwiano, E. R., Mulyatno, I. P., & Sisworo, S. J. (2021). Analisis Risiko Pada Proses Bongkar Muat Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Fault Tree Analysis (FTA) di PT. Abadi Jaya Maritim. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 162–167.
- Febiary, I., W, A. F., & Yuniarno, S. (2016). Efektivitas Aerasi, Sedimentasi, dan Filtrasi Untuk Menurunkan Keekeruhan dan Kadar Besi (Fe) Dalam Air. *Jurnal Kesmas Indonesia*, 8(1), 32-39.
- Fitrianti, N. (2016). *Analisis Penurunan Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Google Earth 7.3, (2021) *PDAM Instalasi Pengolahan Air Minum Karangpilang 7°20'37.67" S, 112°40'51.62" E, elevation 8 m*. 3D Buildings data layer. [Online] Available at: <http://www.google.com/earth/index.html> [Accessed 26 Juni 2022].
- Government of Western Australia. (1999). *Guidelines For Managing Risk In The Western Australian Public Sectors*.
- Gusril, H. (2016). Studi Kualitas Air Minum PDAM di Kota Duri Riau. *Jurnal Geografi*, 8(2), 190–196.
- Hadi, W. (2016). *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. ITS Press.
- Hamimal, M. R., Fitriani, N., & Karnaningroem, N. (2013). *Uji Kemampuan Slow Sand Filter dalam Menurunkan Keekeruhan, COD, dan Total Coliform [TESIS]*. ITS.
- Harmiyanti. (2018). Tinjauan Proses Pengolahan Air Baku (Raw Water) Menjadi Air Bersih pada Sarana Penyediaan Air Minum (SPAM) Kecamatan Rangsang Kabupaten Kepulauan Meranti. *Jurnal Saintis*, 18(1), 1–15.
- Hendrasarie, N., & Rini, T. S. (2001). TUBE SETTLER SEBAGAI ALTERNATIF PENYUSUNAN KEKERUHAN (Novirina dan dan Titien). *Jurnal Aksial*, 3(3), 149–154.

- Hizni'am, N. A., Karnaningroem, N., & Mardiyanto, M. A. (2019). Study of Karangpilang II Water Production Quality Control Using Statistical Process Control (SPC). *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 5, 248–255.
- Humairoh, L. (2014). *Penerapan Metode Elektrokoagulasi Dalam Penjernihan Air Sungai Musi Menggunakan Elektroda Aluminium [SKRIPSI]*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Husada, G., Christin, M., & Fransiska, M. (2010). Kajian Kelayakan Air Sungai Cikapundung Sebagai Air Bersih. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 79–193.
- Jiyah, J., Sudarsono, B., & Sukmono, A. (2016). Studi Distribusi Total Suspended Solid (Tss) Di Perairan Pantai Kabupaten Demak Menggunakan Citra Landsat. *Jurnal Geodesi Undip*, 6, 41–47.
- Joko, T. (2010). *Unit Produksi Dalam Sistem Penyediaan Air Minum*. Graha Ilmu.
- Kustiyaningsih, E., & Irawanto, R. (2020). Pengukuran Total Dissolved Solid (TDS) dalam Fitoremediasi Deterjen Dengan Tumbuhan. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 7(1), 143–148.
- Lutfhansa, U. M. (2017). *Analisis Pemenuhan Kebutuhan Air Bersih Di Kecamatan Simokerto Dan Kecamatan Semampir Kota Surabaya [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Mahyudin, S., & Prayogo, T. B. (2015). Analisis Kualitas Air dan Strategi Pengendalian Pencemaran Air Sungai Metro di Kota Kepanjen Kabupaten Malang. *Jurnal PAL* 6, 2, 105–114.
- Maryani, D., Masduqi, A., & Moesriati, A. (2014). Pengaruh Ketebalan Media dan Rate Filtrasi pada Sand Filter dalam Menurunkan Kekeuhan dan Total Coliform. *Jurnal Teknik POMITS*, 3(2), 76–81.
- Masduqi, A., & Assomadi, A. F. (2012). *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. ITS Press.
- Narita, K., Lelono, B., & Arifin, S. (2012). *Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Penentuan Dosis Tawas pada Proses Koagulasi Sistem Pengolahan Air Minum [TESIS]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugraha, E., & Sari, R. M. (2019). Analisis Defect dengan Metode Fault Tree Analysis dan Failure Mode Effect Analysis. *Jurnal Saintifik Manajemen Dan Akuntansi*, 2(2), 62–72.
- Pakpahan, R. S., Picauly, I., & Mahayasa, I. N. Y. (2015). Cemaran Mikroba Escherichia Coli dan Total Bakteri Coliform pada Air Minum Isi Ulang. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional*, 9(4), 300–307.
- Pemerintah Kota Surabaya. (2015). *Revisi Rencana Induk Sistem Penyediaan Air Minum Kota Surabaya*.
- Pemerintah Kota Surabaya. (2016). *Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Pemerintah Kota Surabaya Provinsi Jawa Timur*.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia. (2010). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum*.
- Peraturan Pemerintah. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Priyanta, D. (2000). *Keandalan dan Perawatan*.
- Rahman, A. (2017). *Studi Peningkatan Kinerja IPAM Karangpilang - PDAM Surya Sembada [TESIS]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Rahmawati, E., & Mulia, G. J. (2017). *Laporan Kerja Praktik Manajemen Risiko Unit Produksi Pada Instalasi Pengolahan Air Minum Karang Pilang I Kota Surabaya*.
- Reynolds, T. D., & Richards, P. . (1996). *Unit Operation and Process In Environmental Engineering: Second Edition*. PWS Publishing Company.
- Rinawati, D., H., R., S., & Dewi, P. S. (2016). Penentuan Kandungan Zat Padat (Total Dissolve Solid dan Total Suspended Solid) di Perairan Teluk Lampung. *Analit: Analytical and*

- Environmental Chemistry*, 1(1), 36–45.
- Rochmana, S. (2017). *Perancangan Profil Risiko Dengan Menggunakan Metode FTA dan FMEA Pada Proses Produksi Pabrik AMDK K3PG [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Santoso. (2008). *Buku Latihan SPSS Statistik Parameterik*. PT Elek Media Komputindo.
- Sawyer, C. N., McCarty, P. L., & Parkin, G. F. (2003). *Chemistry For Environmental Engineering And Science 5th Edition*. McGraw-Hill.
- Silitonga, B., & Hendry. (2018). Perencanaan Hidrolis Pintu pada Bangunan Pengambilan Air (Intake). *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil*, 1(2), 73–77.
- SNI 6774:2008. (2008). *Tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air*.
- SNI 6775:2008. (2008). Standar Nasional Indonesia 6775 Tentang Tata Cara Pengoperasian dan Pemeliharaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air. *Standar Nasional Indonesia*. <https://dokumen.tips/documents/sni-6775-2008-tata-cara-pengoperasian-dan-pemeliharaan-unit-.html>
- Sofia, E., Riduan, R., & Abdi, C. (2015). Evaluasi Kebersediaan Sisa Klor Bebas di Jaringan Distribusi IPA Sungai Lulut PDAM Bandarmasih. *Bandarbaru: Jukung Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(1), 33–52.
- Suparmadja, A. (2015). *Analisis Risiko dan Optimasi Kinerja IPAL Rumah Sakit Menggunakan Metode Fault Tree Analysis (FTA) [TESIS]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Trisaid, S. N. (2020). Analisis Risiko Kecelakaan Kerja Pada Kegiatan Rig Service Menggunakan Metode HIRARC Dengan Pendekatan FTA. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 8(1), 25–33.
- Utami, I. M. (2019). *Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air di IPAM “X” Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assesment (LCA) [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Vaughan, E. J. (2008). *Fundamentals of Risk and Insurance*. John Wiley & Sons, Inc.
- Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts, N. H., & Haasl, D. F. (1981). *Fault Tree Handbook (NUREG-0492)*. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 209.
- Widyaningrum, C. R. (2016). *Analisis Penurunan Kinerja Unit Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Karang Pilang I Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) [SKRIPSI]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yunianto, R. M., & Ciptomulyono, U. (2015). *Kajian Life Cycle Assessment ( Lca ) Untuk Perbaikan Produksi Air Bersih Instalasi Pengolahan Air Minum ( Ipam ) Ngagel Ii Pdam Surabaya Dengan Pendekatan Analytic Network Process ( Anp ) [TESIS]*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN A

### PRASEDIMENTASI

Q Total	= 2861.96 L/s
Jumlah	= 10 bak
Panjang (p)	= 80 m
Lebar (l)	= 15 m
Kedalaman (h)	= 2.75 m
A Surface (As)	= p x l = 80 m x 15 m = 1200 m <sup>2</sup>
A cross	= l x h = 15 m x 2,75 m = 41.25 m <sup>2</sup>
V per bak	= p x l x h = 80 m x 15 m x 2,75 m = 3300 m <sup>3</sup>
Q total	= 2.862 m <sup>3</sup> /s
Q per bak	= Q total / Jumlah bak = 2,862 m <sup>3</sup> /s / 10 = 0.286195833 m <sup>3</sup> /s
Beban Permukaan (OFR)	= Q per bak / As = 0,286 m <sup>3</sup> /s / 1200 m <sup>2</sup> = 0.000238497 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s = 0.8585875 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam
Waktu detensi (Td)	= V per bak / Q per bak = 3300 m <sup>3</sup> /s / 0,286 m <sup>3</sup> /s = 11530.56619 s = 3.202935053 jam
Kecepatan Horizontal (Vh)	= Q per bak / As = 0,286 m <sup>3</sup> /s / 41,25 m = 0.006938081 m/s = 6,93 x 10 <sup>-3</sup> m/s
Suhu rata-rata	= 28 C
Viskositas kinematis (v) (pada suhu 28 C)	= 0.000000839 m <sup>2</sup> /s = 8,39 x 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Jari-jari hidrolis (R)	= (l x H) / (l + 2H) = 15 m x 2,75 m / 15 m + 2(2,75 m) = 2.012195122 m
Bilangan Reynold (NRe)	= Vh x R / v = 6,93 m/s x 2,012 m / 8,39 x 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s = 16639.77635
Bilangan Froude (NFr)	= Vh <sup>2</sup> / G x R = (6,93 x 10) <sup>2</sup> / 9,81 x 2,012 m = 2,43 x 10 <sup>-6</sup>

PRASEDIMENTASI			
Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Waktu Detensi (Td)	2 - 4 jam	3,20 jam	OK
Beban Permukaan (OFR)	< 50 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	0,85 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	OK
Nre	< 2000	16639.77635	TM
Nfr	> 10 <sup>-5</sup>	2,43 x 10 <sup>-6</sup>	TM

Sumber : Nota desain IPAM Karangpilang II Kota Surabaya

### **CLEARATOR**

#### **Proses Sedimentasi**

Q	= 2861.96 L/s = 2.862 m <sup>3</sup> /s
Jumlah	= 4 bak
Q tiap bak	= 0.715 m <sup>3</sup> /s
D bak clearator	= 28.6 m
D kecil	= 3,1 m
Tinggi clearator	= 5.8 m
h tube settler	= 1.25 m
w tube settler	= 0.055 m
α tube settler	= 60°
A tube settler	= 1/4 x π x (D1 <sup>2</sup> - D2 <sup>2</sup> ) = 1/4 x 3,14 x ((28,6 <sup>2</sup> ) - (3,1 <sup>2</sup> )) = 634.55475 m <sup>2</sup>
Beban Permukaan	= (Q bak / A tube) x (w/(h cos a) + (w cos a)) = (0,715 m <sup>3</sup> /s/634,55 m <sup>2</sup> ) x (0,055/(1,25 cos 60) + (0,055 cos 60)) = 0.000130232 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .s = 11.25200568 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .hari
Viskositas kinematis (ν) (pada suhu 28 C)	= 0.000000839 m <sup>2</sup> /s = 8,39 x 10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s
Kecepatan horizontal (Vh)	= Q bak / A tube x sin 60 = 0,715 m <sup>3</sup> /s / 634,55 m <sup>2</sup> x 0,87 = 0.00129603 m/s = 1,29 x 10 <sup>-3</sup> m/s
Jari-jari hidrolis (R)	= A/P = 1162,9618 m <sup>2</sup> / 158,004 m = 7,36 m
Bilangan Reynold (NRe)	= Vh x R / ν = 1,29 x 10 <sup>-3</sup> x 7,36 m / 8,39 x 10 <sup>-7</sup> = 11369,735
Luas Permukaan (As)	= 1/4 x π x D1 <sup>2</sup> = 1/4 x 3,14 x (28,6 <sup>2</sup> ) = 642.0986 m <sup>2</sup>
Kedalaman efektif (H)	= 3.8 m

(Asumsi nota desain)

Volume bak sedimentasi  $= A_s \times H$   
 $= 642,09 \text{ m}^2 \times 3,8 \text{ m}$   
 $= 2439,97468 \text{ m}^3$

Td  $= V \text{ bak sedimentasi} / Q \text{ bak}$   
 $= 2439,97 \text{ m}^3 / 0,715 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $= 3410,216916 \text{ s}$   
 $= 56,83 \text{ menit}$   
 $= 0,94 \text{ jam}$

Kecepatan Settling (Vs)  $= Q \text{ bak} / A_s \times (\sin a + \ln \cos a)$   
 $= 0,715 \text{ m}^3/\text{s} / 642,09 \text{ m}^2 \times (\sin 60 + \ln \cos 60)$   
 $= 0,001288287$   
 $= 1,28 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

### **Proses Flokulasi**

#### Kompertemen 1

Jari-jari atas (r)  $= 3,1 \text{ m} / 2$   
 $= 1,55 \text{ m}$

Jari-jari bawah (R)  $= 5,25 \text{ m} / 2$   
 $= 2,625 \text{ m}$

Tinggi  $= 0,95 \text{ m}$

Volume  $= \frac{1}{3}\pi t(R^2 + Rr + r^2)$   
 $= \frac{1}{3} \times 3,14 \times 0,95 (2,625^2 + (2,625 \times 1,55) + 1,55^2)$   
 $= 13,28615771 \text{ m}^3$

Waktu detensi (Td)  $= \text{Volume} / Q \text{ tiap bak}$   
 $= 13,29 \text{ m}^3 / 0,715 \text{ m}^3/\text{s}$   
 $= 18,56932374 \text{ s}$

D difuser  $= 6 \text{ inch}$   
 $= 0,1524 \text{ m}$

L difuser  $= 0,25\pi D^2$   
 $= 0,25 \times 3,14 \times (0,1524 \text{ m}^2)$   
 $= 0,0182 \text{ m}$

Total L difuser  $= L \text{ difuser} \times \text{Jumlah difuser}$   
 $= 0,0182 \text{ m} \times 22$   
 $= 0,401108875 \text{ m}^2$

V  $= Q/A$   
 $= 0,715 \text{ m}^3/\text{s} / 0,401 \text{ m}^2$   
 $= 1,783778988 \text{ m/s}$

Hf  $= V^2 \times K / 2g$   
 $= 1,783 \text{ m/s} \times 0,8 / 2 \times 9,81$   
 $= 0,129739754 \text{ m}$

G  $= ((H_f \times g) / (v \times t_d))^{(1/2)}$   
 $= ((0,1297 \times 9,81) / (8,39 \times 10^{-7} \times 18,57))^{(1/2)}$   
 $= 285,8196052 / \text{s}$

#### Kompartemen 2

Jari-jari atas (r)  $= 5,25 \text{ m} / 2$   
 $= 2,625 \text{ m}$

Jari-jari bawah (R)  $= 8,5 \text{ m} / 2$

$$\begin{aligned}
&= 4.25 \text{ m} \\
\text{Tinggi} &= 1.95 \text{ m} \\
\text{Volume} &= \frac{1}{3}\pi(R^2 + Rr + r^2) \\
&= \frac{1}{3} \times 3,14 \times 1,95 (4,25^2 + (4,25 \times 2,625) + 2,625^2) \\
&= 73.69 \text{ m}^3 \\
\text{Waktu detensi (Td)} &= \text{Volume}/Q \text{ tiap bak} \\
&= 73,69 \text{ m}^3 / 0,715 \text{ m}^3/\text{s} \\
&= 103.0053212 \text{ s} \\
\text{D difuser} &= 6 \text{ inch} \\
&= 0.1524 \text{ m} \\
\text{L difuser} &= 0,25\pi D^2 \\
&= 0,25 \times 3,14 \times (0,1524 \text{ m}^2) \\
&= 0.018232222 \text{ m} \\
\text{Total L difuser} &= \text{L difuser} \times \text{Jumlah difuser} \\
&= 0,0182 \text{ m} \times 26 \\
&= 0.474037762 \text{ m}^2 \\
V &= Q/A \\
&= 0,715 \text{ m}^3/\text{s} / 0,437 \text{ m} \\
&= 1.509351451 \text{ m/s} \\
H_f &= V^2 \times K / 2g \\
&= 1,635^2 \text{ m/s} \times 0,8 / 2 \times 9,81 \\
&= 0.09289 \text{ m} \\
G &= ((H_f \times g)/(v \times t_d))^{(1/2)} \\
&= ((0,0928 \times 9,81)/(8,39 \times 10^{-7} \times 103))^{(1/2)} \\
&= 102.6856039 \text{ /s}
\end{aligned}$$

### Kompartemen 3

$$\begin{aligned}
\text{Jari-jari atas (r)} &= 8,5 \text{ m} / 2 \\
&= 4.25 \text{ m} \\
\text{Jari-jari bawah (R)} &= 11,7 \text{ m} / 2 \\
&= 5.85 \text{ m} \\
\text{Tinggi} &= 1.9 \text{ m} \\
\text{Volume} &= \frac{1}{3}\pi(R^2 + Rr + r^2) \\
&= \frac{1}{3} \times 3,14 \times 1,9 (5,85^2 + (5,85 \times 4,25) + 4,25^2) \\
&= 153.4206617 \text{ m}^3 \\
\text{Waktu detensi (Td)} &= \text{Volume}/Q \text{ tiap bak} \\
&= 153,42 \text{ m}^3 / 0,715 \text{ m}^3/\text{s} \\
&= 214.4275266 \text{ s} \\
\text{D difuser} &= 6 \text{ inch} \\
&= 0.1524 \text{ m} \\
\text{L difuser} &= 0,25\pi D^2 \\
&= 0,25 \times 3,14 \times (0,1524 \text{ m}^2) \\
&= 0.018232222 \text{ m} \\
\text{Total L difuser} &= \text{L difuser} \times \text{Jumlah difuser} \\
&= 0,0182 \text{ m} \times 49 \\
&= 0.893378858 \text{ m}^2 \\
V &= Q/A \\
&= 0,715 \text{ m}^3/\text{s} / 0,875 \text{ m}^2 \\
&= 0.800880362 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

$$H_f = V^2 \times K / 2g$$

$$= 0,817^2 \text{ m/s} \times 0,8 / 2 \times 9,81$$

$$= 0.026153287 \text{ m}$$

$$G = ((H_f \times g) / (v \times t_d))^{(1/2)}$$

$$= ((0,027 \times 9,81) / (8,39 \times 10^{-7} \times 214,42))^{(1/2)}$$

$$= 37.76386112 \text{ /s}$$

CLEARATOR				
Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Sumber	Keterangan
Waktu Detensi (Td)	0,4 - 1,7 jam	0,94 jam	Nota desain IPAM KP II	OK
Beban Permukaan (OFR)	58 - 290 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	11,25 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .jam	Droste and Gehr, 2019	TM
Nre	< 2000	11369,735	SNI 6774:2008	TM
Gradien Kecepatan Flokulator	10 - 100 /s	285 /s, 102 /s, 37,76 /s	Geyers dalam Anjar, 2015	TM

## **FILTER**

### **MEDIA**

Pasir Silika

Tebal = 600 mm

Specific gravity (Ss) = min 2,6 g/cm<sup>3</sup>

Shape factor (Ψ) = 0.83

Porositas (f) = 0.4

Diameter media = 2,2 - 3,2 mm

Antrasit

Tebal = 400 mm

Specific gravity (Ss) = 1,4 - 1,65 g/cm<sup>3</sup>

Shape factor (Ψ) = 0.7

Porositas (f) = 0.48

Diameter media = 1,5 - 2,2 mm

Jumlah bak filter

Panjang (p) = 10 m

Lebar (l) = 6 m

Kedalaman (H) = 3.25 m

Volume bak = p x l x H

= 10 m x 6 m x 3,25 m

= 195 m<sup>3</sup>

Q total	= 2.86196 m <sup>3</sup> /s
Q tiap bak	= Q total / jumlah bak = 2,86196 m <sup>3</sup> /s / 16 bak = 0.178872396 m <sup>3</sup> /s = 643.940625 m <sup>3</sup> /jam
Waktu detensi (Td)	= Vol / Q tiap bak = 195 m <sup>3</sup> / 0,178 m <sup>3</sup> /s = 1090.162622 s = 0.30282295 jam
Luas Permukaan (As)	= p x l = 10 m x 6 m = 60 m <sup>2</sup>
Kecepatan filter (flow rate)	= Q tiap bak / As = 643,94 m <sup>3</sup> /jam / 60 m <sup>2</sup> = 10.73234375 m <sup>3</sup> /jam
Waktu backwash	= 20 menit (5 menit persiapan)
Waktu blower	= 15 menit
Periode backwash	= 24 jam (1 kali sehari/bak)
Q total pompa backwash	= 300 l/s x 3 pompa = 900 l/s = 3240 m <sup>3</sup> /jam
Q backwash per bak	= Q total pompa / jumlah bak = 3240 m <sup>3</sup> /jam / 16 bak = 202.5 m <sup>3</sup> /hari
Kecepatan backwash	= Q backwash per bak / As = 202,5 m <sup>3</sup> /hari / 60 m <sup>2</sup> = 3.375 m <sup>3</sup> /jam

FILTER				
Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Sumber	Keterangan
Kecepatan Filter	< 12 m/ jam	10,73 m/jam	Nota desain IPAM KP II	OK
Kecepatan Pencucian	36 - 50 m/jam	3,375 m/jam	SNI 6774:2008	TM
Tebal Media Pasir Silika	300 - 600 mm	600 mm	SNI 6774:2008	OK
Tebal Media Antrasit	400 - 500 mm	400 mm	SNI 6774:2008	OK
Ukuran Media Pasir Silika	> 0,46 mm	2,2 - 3,2 mm	Nota desain IPAM KP II	OK

FILTER				
Spesifikasi Teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Sumber	Keterangan
Ukuran Media Antrasit	> 0,7 mm	1,5 - 2,2 mm	Nota desain IPAM KP II	OK
Periode Antar Pencucian	18 - 24 jam	24 jam	SNI 6774:2008	OK

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LAMPIRAN B**  
**PERBAIKAN MEKANIKAL IPAM KARANGPILANG II PERIODE JANUARI 2020 – MARET 2022**

Tanggal	Aset	Kerusakan
<b>Pompa Air Baku</b>		
26/06/2020	Check Valve Discharge Pompa Air Baku Utama No. 3	Valve tidak bisa dibuka
28/03/2020	Pompa Air Baku Utama No. 3	Crossed berbunyi
28/02/2020	Pompa Air Baku Tambahan No. 3	Pompa tidak berfungsi
22/12/2021	Pompa Air Baku Utama No. 4	Vibrasi tinggi dan suara kasar
27/12/2021	Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Ampere pompa turun
09/11/2021	Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Pompa tidak berfungsi
04/09/2021	Pompa Air Baku Utama No. 5	Crosskit bergoyang
07/06/2021	Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Pompa intake kecil tidak dapat diputar
03/05/2021	Pompa Air Baku Tambahan No. 2	Ampere pompa turun
04/04/2021	Pompa Air Baku Utama No. 3	Suara bearing kasar
16/03/2021	Butterfly Valve Discharge Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Valve discharge tidak dapat menutup rapat
01/03/2021	Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Suara bearing kasar
	Check Valve Discharge Pompa Air Baku Tambahan No. 1	Suara kasar pada check valve
22/02/2022	Pompa Air Baku Tambahan No. 2	Suara pompa kasar
18/01/2022	Pompa Air Baku Utama No. 3	Crosskit bergoyang
17/01/2022	Pompa Air Baku Utama No. 3	Suara bearing kasar
04/01/2022	Pompa Air Baku Utama No. 5	Crosskit bergoyang
<b>Koagulasi</b>		
03/12/2020	Pompa Pendorong Aluminium Sulfat No. 1	Baseplate korosif
03/12/2020	Pompa Pendorong Aluminium Sulfat No.2	Pompa Bocor
13/10/2020	Pompa Pendorong Aluminium Sulfat No. 1	Pompa bocor
15/12/2021	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 1	Casing pompa mengalami korosif
14/12/2021	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 1	Casing pompa mengalami korosif
13/12/2021	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 2	Casing pompa mengalami korosif

Tanggal	Aset	Kerusakan
27/10/2021	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 2	Suara pompa kasar
23/02/2022	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 1	Pompa bikinan tawas bocor
18/01/2022	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 2	Pompa tidak menghisap
17/01/2022	Pompa Pendorong Alumunium Sulfat No. 3	Packing bocor
07/02/2022	Bikinan Polymer Baru	Alarm bunyi
Clearator		
17/12/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 8 Clearator 3	Valve tidak bisa dibuka
17/12/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 8 Clearator 3	Valve tidak bisa dibuka
30/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 4 Clearator 4	Bocor Udara
30/11/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 5 Clearator 3	Bocor Udara
30/11/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 7 Clearator 2	Bocor Udara
26/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 14 Clearator 3	Bocor Udara
26/11/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 2 Clearator 3	Bocor Udara
25/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 3 Clearator 4	Koil Selenoid terbakar
12/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 14 Clearator 1	Valve tidak bisa menutup
11/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 6 Clearator 3	Valve tidak bisa buka tutup otomatis
11/11/2020	Actuator Regulating Valve Inlet Clearator 4	Actuator tidak dapat menutup
04/11/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 6 Clearator 3	tidak bisa menutup otomatis
02/11/2020	Actuator Regulating Valve Inlet Clearator 2	Valve tidak dapat menutup
02/11/2021	Actuator Regulating Valve Inlet Clearator 1	Valve tidak dapat menutup
30/10/2020	Gate Valve Drain No. 9 Clearator 4	Valve tidak bisa dibuka saat proses drain
30/10/2021	Gate Valve Drain No. 10 Clearator 4	Valve tidak bisa dibuka saat proses drain
30/10/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 17 Clearator 1	Tidak dapat menutup sempurna

Tanggal	Aset	Kerusakan
28/10/2020	Gate Valve Drain No. 9 Clearator 1	Stop kran drain tidak ada, Bocor (ngowos)
26/10/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 4	Valve drain tidak menutup sempurna
21/10/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 6 Clearator 3	Tidak dapat membuka otomatis
06/10/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 3	Tidak dapat menutup otomatis
25/09/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 16 Clearator 1	Drain bocor (ngowos)
23/09/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 6 Clearator 3	Actuator tidak dapat menutup
12/06/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 16 dan 15 Clearator 3	Tidak dapat membuka otomatis
05/06/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 16 Clearator 2	Tidak dapat membuka otomatis
04/06/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 9 dan 10 Clearator 1	Tidak dapat menutup
26/06/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 13 Clearator 2	Actuator tidak bisa membuka otomatis
11/05/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 4 Clearator 3	Actuator tidak bisa membuka otomatis
30/04/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 3 Clearator 2	Actuator tidak bisa membuka otomatis
04/02/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 6 Clearator 3	Drain tidak berfungsi
21/04/2020	Valve Outlet Drain Center Clearator 3	Valve tidak dapat membuka dan menutup dengan mudah
12/03/2020	Gate Valve Drain No. 13 Clearator 4	Valve tidak menutup dengan rapat
12/03/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 10 Clearator 4	Valve dari 10 menuju 11 jangka waktunya lama
11/02/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 12 Clearator 2	Drain tidak dapat menutup otomatis
11/02/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 14 Clearator 2	Drain keliling clearator 2
31/01/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 12 Clearator 1	Tidak dapat membuka otomatis
31/01/2021	Gate Valve Drain No. 8 Clearator 1	Tidak dapat membuka otomatis
27/01/2020	Actuator Butterfly Valve Drain No. 8 Clearator 1	Tidak dapat beroperasi secara otomatis
17/12/2021	Gate Valve Drain No. 11 Clearator 1	Tidak dapat menutup

Tanggal	Aset	Kerusakan
12/12/2021	Gate Valve Drain No. 16 Clearator 1	Valve angin lepas
30/11/2021	Gate Valve Drain No. 8 Clearator 2	Tidak dapat membuka
08/11/2021	Kompresor Screw No. 3	Lifetime sparepart mendekati waktu habis
08/11/2022	Kompresor Screw No. 4	Mengalami alarm high discharge temperature
02/11/2021	Kompresor Screw No. 4	Tekanan tidak dapat bertambah saat kompresor menyala
28/10/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 3	Actuator pneumatik bocor udara
19/10/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 7 Clearator 3	Valve tidak dapat menutup rapat
29/10/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 3 Clearator 4	Valve tidak dapat menutup rapat
20/09/2021	Gate Valve Drain No. 1 Clearator 2	Drain tidak dapat menutup
18/08/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 1	Valve tidak dapat menutup rapat
19/05/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 16 Clearator 4	Valve tidak dapat menutup
19/05/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 15 Clearator 4	Valve tidak dapat menutup
13/04/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 12 Clearator 3	Valve tidak dapat terbuka
13/04/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 3	Valve tidak dapat terbuka
13/04/2023	Actuator Butterfly Valve Drain No. 5 Clearator 3	Valve tidak dapat terbuka
13/04/2024	Actuator Butterfly Valve Drain No. 4 Clearator 3	Valve tidak dapat terbuka
19/02/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 2 Clearator 2	Solenoid bocor
03/02/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 16 Clearator 2	Valve tidak dapat terbuka dan tertutup otomatis
04/01/2021	Actuator Butterfly Valve Drain No. 5 Clearator 4	Valve tidak dapat terbuka
04/01/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 4 Clearator 4	Valve tidak dapat terbuka
04/01/2023	Actuator Butterfly Valve Drain No. 1 Clearator 4	Valve tidak dapat terbuka
17/01/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 1 Clearator 2	Solenoid tidak dapat tertutup

Tanggal	Aset	Kerusakan
11/01/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 1 Clearator 2	Solenoid tidak dapat tertutup otomatis
11/01/2023	Gate Valve Drain No. 18 Clearator 4	Drain tidak dapat membuka dan menutup otomatis
06/01/2022	Gate Valve Drain No. 6 Clearator 2	Solenoid tidak dapat tertutup otomatis
06/01/2023	Gate Valve Drain No. 3 Clearator 2	Solenoid tidak dapat tertutup otomatis
05/01/2022	Actuator Butterfly Valve Drain No. 11 Clearator 1	Valve tidak dapat menutup
Filter		
24/12/2020	Butterfly Valve Outlet Filter No. 12	Tidak dapat dibuka secara otomatis
14/12/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 8	Tidak dapat dibuka secara otomatis
11/12/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Washout Filter No. 3	Bocor
02/12/2020	Actuator Butterfly Valve Backwash Filter No. 4	Valve tidak dapat membuka dan menutup otomatis
02/12/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 7	Valve tidak dapat membuka dan menutup otomatis
30/11/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 4	Solenoid Rusak
20/11/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 10	Tidak dapat dibuka tutup secara otomatis
20/11/2020	Actuator Butterfly Valve Backwash Filter No. 4	Tidak bisa dibuka
18/11/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 9	Sering menutup sendiri
18/11/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 7	Bocor udara
15/11/2020	Screw Compresor No.3	Lifetime air filter dan oil filter mendekati 2000 h
13/11/2020	Butterfly Valve Drain Filter No. 8	Valve tidak bisa dibuka
02/11/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 15	Valve tidak bisa dibuka
29/10/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 3	valve filter tidak dapat menutup otomatis dan manual
20/10/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 3	Tidak bisa buka tutup otomatis

Tanggal	Aset	Kerusakan
14/10/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 7	Penstock angin bocor
04/10/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 3	Tidak bisa membuka otomatis
01/10/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 14	Inlet tidak bisa dibuka
10/09/2020	Butterfly Valve Blower Filter No. 15	Pipa T sebelum valve blower bocor
02/09/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 6	Penstock tidak bisa dibuka
20/07/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 13	Udara di actuator bocor
16/07/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 9	Udara di actuator bocor
16/07/2021	Kompresor Screw No. 1	Saringan udara jalur pendingin elektromotor jebol
16/07/2022	Tabung udara No. 1 Kompresor	Terdapat air pada seperempat volume tabung akibat kondensasi
12/07/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 10	Tidak bisa buka tutup otomatis
10/07/2020	Actuator Butterfly Valve Backwash Filter No. 4	Valve tidak bisa dibuka
06/07/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 10	Tidak bisa buka tutup otomatis
03/07/2020	Kompresor Piston No. 2	Kompresi Macet
05/06/2020	Kompresor Screw No. 4	Tidak dapat beroperasi
24/05/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Washout Filter No. 5	Outlet Penstock tidak dapat terbuka
06/01/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 15	Tidak dapat beroperasi
09/01/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 2	Bergetar lumayan keras
13/05/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 10	Selang bocor
08/05/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 11	Solenoid bocor udara
05/05/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 12	Penstock tidak bisa naik atau turun
18/02/2020	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 3	Sambungan pintu outlet filter terlepas
04/03/2020	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 3	Actuator bocor udara

Tanggal	Aset	Kerusakan
15/04/2020	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 7	Outlet tidak dapat terbuka
05/03/2020	Actuator Butterfly Valve Backwash Filter No. 7	Backwash tidak dapat terbuka
17/12/2021	Cylinder Pneumatic Actuator Washout Filter No. 7	Penstock outlet filter tidak dapat menutup
26/11/2021	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 12	Penstock tidak dapat terbuka
13/09/2021	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 7	Outlet tidak dapat terbuka dan menutup otomatis
22/06/2021	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 4	Outlet tidak dapat terbuka dan menutup otomatis
30/05/2021	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 4	Tidak dapat terbuka dan menutup otomatis
25/03/2021	Actuator Butterfly Valve Blower Filter No. 1	Tidak dapat terbuka
23/03/2021	Kompresor Screw No. 3	Sparepart telah mencapai lifetime
09/03/2021	Blower Filter No. 2	Blower tidak maksimal
22/02/2021	Blower Filter No. 1	Blower tidak maksimal
19/02/2021	Blower Filter No. 1	Blower tidak maksimal
07/02/2021	Cylinder Pneumatic Actuator Inlet Filter No. 14	Actuator rusak
20/01/2021	Actuator Butterfly Valve Backwash Filter No. 6	Actuator tidak dapat terbuka
07/02/2022	Kompresor Screw No. 2	Tidak dapat dioperasikan
07/02/2022	Kompresor Screw No. 1	Tidak dapat dioperasikan
03/02/2022	Actuator Butterfly Valve Outlet Filter No. 13	Valve tidak dapat membuka dan menutup otomatis
Injeksi Klor		
11/11/2020	Kontrol Chlor KP 2	Pipa pendorong klor bocor
02/09/2020	Scrubber Chlor	Trouble
28/02/2020	Kontrol Chlor KP 2	Tekanan pendorong klor kurang
19/03/2020	Scrubber Chlor	Trouble
19/03/2021	Kontrol Chlor KP 2	Tekanan tabung 0 namun rotator masih berjalan
25/03/2020	Scrubber Chlor	Seal bocor
08/02/2021	Kontrol Chlor KP 2	Pipa kapiler tersumbat
28/01/2022	Scrubber Chlor	Trouble
Pompa Distribusi		

Tanggal	Aset	Kerusakan
02/12/2020	Pompa Distribusi Utama No. 4	Suara Intermediate Kasar
22/10/2020	Pompa Distribusi Tambahan No. 1	Meack seal bocor
08/08/2020	Pompa Distribusi Utama No. 4	Suara Kasar
05/08/2020	Pompa Distribusi Tambahan No. 3	Suara Kasar
06/06/2020	Pompa Distribusi Tambahan No. 3	Suara Berdengung
28/05/2020	Pompa Distribusi Utama No. 1	Suara Kasar
09/01/2020	Check Valve Discharge Pompa No. 6	Arus balik
27/02/2020	Spare Check Valve Discharge Pompa	Check Valve bocor
20/12/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 2	Suara Kasar
02/12/2021	Pompa Distribusi Utama No. 6	Perlu dilakukan regreasing pada bearing pompa
26/11/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 4	Pompa mengalami trouble
25/11/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 3	Bearing mengalami aus
28/09/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 2	Meackseal bocor
22/09/2021	Double Girder Overhead Crane	Crane macet
02/06/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 4	Meackseal bocor
27/05/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 2	Meackseal bocor
30/03/2021	Pompa Distribusi Utama No. 5	Suara bearing kasar
20/01/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 4	Suara bearing keras dan kasar
18/01/2021	Pompa Distribusi Utama No. 3	Manometer discharge tidak stabil
18/01/2022	Pompa Distribusi Utama No. 1	Manometer discharge tidak stabil
18/01/2023	Pompa Distribusi Utama No. 6	Manometer discharge tidak stabil
18/01/2024	Pompa Distribusi Utama No. 5	Manometer discharge tidak stabil
11/01/2021	Pompa Distribusi Utama No. 1	Suara bearing dan pompa kasar
06/01/2021	Pompa Distribusi Tambahan No. 3	Suara pompa kasar
13/01/2022	Pompa Distribusi Utama No. 6	Suara bearing kasar

Tanggal	Aset	Kerusakan
12/01/2022	Pompa Distribusi Utama No. 5	Crosskit pecah
04/01/2022	Pompa Distribusi Tambahan No. 4	Meackseal bocor dan bearing pompa aus

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN C



Gambar Intake IPAM Karangpilang



Gambar Sumur Pengumpul



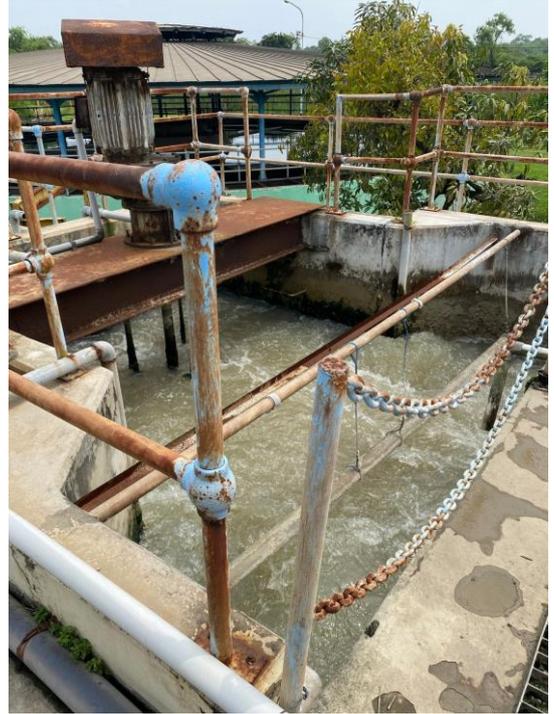
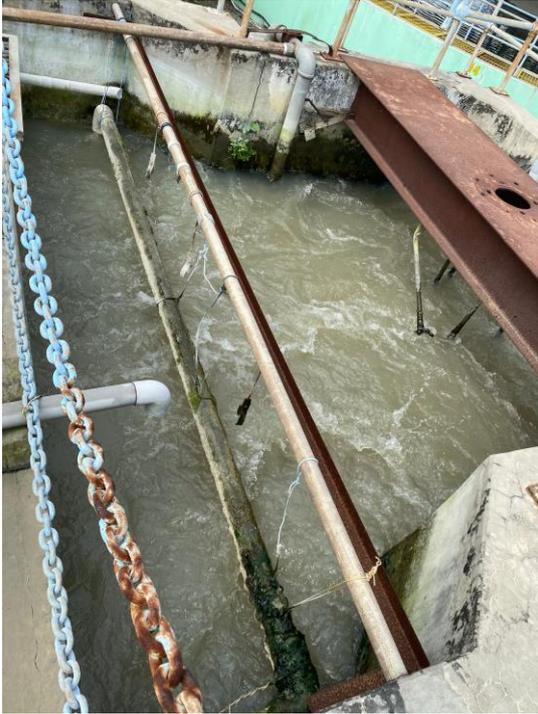
Gambar Rumah Pompa Air Baku



Gambar Aerator (Kiri : Utara, Kanan : Selatan)



Gambar Prasedimentasi



Gambar Bak Koagulasi



Gambar Bangunan Clearator



Gambar Proses Flokulasi dalam Unit Clearator (kiri), Gambar Pipa Lounder dan Tube Settler pada Proses Sedimentasi dalam Unit Clearator (kanan)



Gambar Drain keliling unit Clearator (kiri), Gambar Drain Center (kanan)



Gambar Unit Filter (kiri), Gambar Unit Filter saat Proses Blower (kanan)



Rumah Pompa Air Produksi



Reservoir IPAM Karangpilang II

## BIODATA PENULIS



Carissa Putri lahir di Surabaya pada 22 April 2000. Penulis menempuh pendidikan formal di SD NU 1 Trate Gresik (2006-2012), SMP Negeri 1 Gresik (2012-2015), dan SMA Negeri 1 Manyar Gresik (2015-2018). Pada tahun 2018, penulis melanjutkan Pendidikan S1 di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan (FTSPK) ITS dan terdaftar dengan NRP 03211840000102. Semasa perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan non akademik kampus. Penulis aktif menjadi pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan (HMTL) ITS sebagai Staff Biro Internal Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) pada tahun 2019-2020, Kepala Biro Internal Komunitas Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) pada tahun 2020-2021, dan Pemandu BAKOR FTSPK ITS pada tahun 2019-2022. Penulis juga memiliki beberapa pengalaman kepanitiaan diantaranya yaitu staff sie Sponsorship & Fundraising Environation ITS (2019), Staff Sponsorship Environation ITS (2020), dan Koordinator Sponsorship Hari Air Sedunia HMTL ITS (2020). Penulis juga mengikuti berbagai kegiatan pelatihan dan seminar dalam rangka pengembangan diri. Apabila terdapat hal yang ingin diketahui lebih lanjut mengenai penelitian ini, dapat menghubungi penulis via *e-mail* [icarissa22@gmail.com](mailto:icarissa22@gmail.com)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 06 Juli 2022  
Pukul : 13.30  
Lokasi : TL 102  
Judul : Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)  
Nama : Carissa Putri  
NRP. : 03211840000102  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
	<i>Culus</i>

*Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing*

Dosen Penguji Prof. Dr. Ir. Sarwoko Mangkoedihardjo, MscEs

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 06 Juli 2022  
Pukul : 12.30  
Lokasi : TL 102  
Judul : Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)  
Nama : Carissa Putri  
NRP. : 03211840000102  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
①.	Gambar? diperjelas.
②.	- Rerby pengam atau sama atau beda. - Probabilitas / frekuensi <del>ke</del> <u>kinerja</u> atau <u>kegagalan</u> .
③.	Analisis kegagalan per unit atau kea keseluruhan.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji

Dr. Ir. R. Iwan Bagyo Santoso, M. T.

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS  
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR  
Periode: Genap 2021/2022

Kode/SKS : RE184804 (0/6/0)  
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03  
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji  
Ujian Tugas Akhir

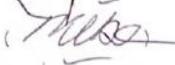
Hari, tanggal : Rabu, 06 Juli 2022  
Pukul : 12.30  
Lokasi : TL 102  
Judul : Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota Surabaya dengan Metode Fault Tree Analysis (FTA)  
Nama : Carissa Putri  
NRP. : 03211840000102  
Topik : Studi Literatur

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
-	laku belahang diproses tajam
-	kerangka penelitian disesuaikan.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.  
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana  
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Penguji  
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Ir. Atiek Moesriati, M. Kes.

Dosen Pembimbing Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M. Sc.

()  
()

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR**

Nama : Carissa Putri  
NRP : 0321184000102  
Judul : Kajian Evaluasi Kinerja IPAM Karangpilang II Kota  
Surabaya dengan Metode *Fault Tree Analysis* (FTA)

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1	27 Januari 2022	Bimbingan mengenai persiapan seminar proposal, membahas materi yang akan dipresentasikan	
2	11 Februari 2022	Bimbingan membahas mengenai data sekunder yang akan digunakan karena terdapat perubahan pada seminar proposal	
3	11 Maret 2022	Bimbingan membahas mengenai pengumpulan data tugas akhir	
4	17 Maret 2022	Bimbingan membahas mengenai data sekunder yang diperlukan dan pertanyaan yang akan ditanyakan kepada instansi	
5	24 Maret 2022	Bimbingan membahas mengenai jangka waktu untuk data sekunder yang disesuaikan dengan ketersediaan instansi	
6	8 April 2022	Bimbingan membahas mengenai data sekunder yang akan digunakan pada laporan serta mengenai <i>fault tree analysis</i> untuk permasalahan yang akan digunakan	
7	18 Mei 2022	Bimbingan mengenai persiapan presentasi seminar kemajuan	
8	21 Juni 2022	Bimbingan mengenai revisi kemajuan yaitu identifikasi faktor risiko dan mitigasinya	

Surabaya, Juli 2022  
Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Nieke Kamaningroem, M. Sc.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*