



TUGAS AKHIR - RE 184804

**ANALISIS KEGAGALAN PADA PROSES
PENGOLAHAN AIR MINUM IPAM X DENGAN
METODE *FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS (FMEA)***

ISTI NURANI SUSILO PUTRI
0321144000061

Dosen Pembimbing
Ir. Atiek Moesriati, M. Kes.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

**ANALISIS KEGAGALAN PADA PROSES
PENGOLAHAN AIR MINUM IPAM X DENGAN
METODE *FAILURE MODE AND EFFECT
ANALYSIS (FMEA)***

ISTI NURANI SUSILO PUTRI
0321144000061

Dosen Pembimbing
Ir. Atiek Moesriati, M. Kes.

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2019



TUGAS AKHIR - RE 184804

ANALYSIS OF PROCESS FAILURE IN WATER TREATMENT PLANT USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) METHOD

ISTI NURANI SUSILO PUTRI
0321144000061

Supervisor
Ir. Atiek Moesriati, M. Kes.

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

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KEGAGALAN PADA PROSES PENGOLAHAN AIR MINUM IPAM X DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA)*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

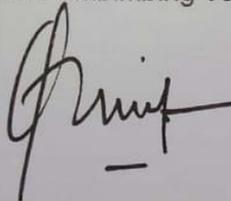
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh:

ISTI NURANI SUSILO PUTRI

NRP. 03211440000061

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

NIP. 19570602 198903 2 002



ANALISIS KEGAGALAN PADA PROSES PENGOLAHAN AIR MINUM IPAM X DENGAN METODE *FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS* (FMEA)

Nama : Isti Nurani Susilo Putri
NRP : 03211440000061
Jurusan : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

ABSTRAK

Sungai yang digunakan sebagai air baku pengolahan PDAM X mendapatkan banyak pencemaran dari lingkungan sekitarnya, baik itu dari limbah domestik maupun limbah industri. Hasil penelitian dari Badan Lingkungan Hidup menyatakan bahwa air baku dari PDAM X tidak layak digunakan sebagai air baku. Hal ini dapat mengakibatkan kemungkinan adanya penurunan kualitas air produksi apabila tidak diolah dengan baik. Di sisi lain, terdapat baku mutu kualitas air minum yang harus dipenuhi PDAM agar air produksi yang dihasilkan layak untuk dikonsumsi masyarakat. IPAM X ditentukan sebagai ruang lingkup penelitian ini karena pengolahannya yang bersifat konvensional, dibandingkan dengan IPAM lainnya di kota terkait yang telah dilengkapi dengan unit *hybrid* yang lebih modern.

Pada penelitian ini dilakukan penelitian laboratorium dan penelitian lapangan untuk menganalisis resiko kegagalan dari IPAM X. Penelitian laboratorium dilakukan untuk melakukan pengujian terhadap parameter sisa klor, kekeruhan, pH dan TDS. Sampel yang dianalisis merupakan sampel air produksi dari efluen IPAM X. Hasil dari analisis sampel dipetakan ke dalam diagram *fishbone* untuk mengetahui faktor yang berpengaruh terhadap parameter yang diuji. Masalah yang telah dipetakan pada diagram *fishbone* dianalisis lebih lanjut dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengetahui kegagalan apa saja yang berpengaruh pada turunnya kualitas air produksi IPAM X.

Hasil penelitian ini menunjukkan unit yang mengalami kegagalan potensial berupa kanal, koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi. Kegagalan terbesar dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi sebesar 75 dimiliki oleh faktor gradient kecepatan pada bak koagulasi dan weir loading pada bak sedimentasi. Hasil akhir dari penelitian ini adalah usulan perbaikan terhadap pengolahan di instalasi pengolahan. Diharapkan hasil usulan perbaikan dapat dijadikan saran untuk sistem pengolahan air minum X sehingga dapat meningkatkan mutu pelayanan.

Kata Kunci: *Failure Mode and Effect Analysis*(FMEA), *fishbone analysis*, IPAM, PDAM, *Risk Priority Number* (RPN)

ANALYSIS OF PROCESS FAILURE IN X WATER TREATMENT PLANT USING FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS(FMEA) METHOD

Name : Isti Nurani Susilo Putri
NRP : 03211440000061
Study Programme : Teknik Lingkungan
Supervisor : Ir. Atiek Moesriati, M.Kes.

ABSTRACT

River as the raw water of PDAM X got so many pollution from its surroundings, whether it came from domestic or industrial waste water. The result of Environmental Agency's research showed that the water of the river is not feasible to use as raw water. This can cause the possibility of the reduction of PDAM X drinking water quality, if the raw water is not treated well. On the other hand, there is a drinking water quality standard must be obeyed by PDAM in order to produce drinking water which proper to consume by community. X Water Treatment Plant was chose to be the scope of this research because of its conventional treatment, compared to any other water treatment plants which have already equipped by modern hybrid units.

Laboratory and field research were done in this research to analyze the risk of failure from X Water Treatment Plant. Laboratory research was done to examine residual chlorine, turbidity, pH and total dissolved solid parameters. The samples which analyzed were produced water from X water treatment plant effluent. The results of analysis were mapped into *fishbone* diagram to know the factors that effected parameters tested. The problem mapped into *fishbone* diagram were analyzed further with Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method to find out what failures effected the decrease of X drinking water quality.

The result of this research showed units that has potential failures are channel, coagulation chamber, baffled channel, and clarifier. The highest results of risk priority (RPN) with score 75 are in velocity gradient in coagulation chamber and weir loading, both are in clarifier. The result of this research is repairment

recommendations for the water treatment. These recommendations are expected to be the suggestion for X water treatment plant in order to increase its quality services.

Key words: *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), fishbone analysis, IPAM, PDAM, Risk Priority Number (RPN)*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas segala nikmat dan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “**Analisis Kegagalan pada Proses Pengolahan Air Minum IPAM X dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)***”.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Atiek Moestiati, M.Kes. selaku dosen pembimbing, atas kesabaran dan ilmu serta bimbingan selama pengerjaan tugas akhir.
2. Prof. Ir. Wahyono Hadi, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc., Ph.D., dan Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T. selaku dosen pengarah atas ilmu dan saran yang diberikan.
3. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen wali dan Welly Herumurti, S.T., M.Sc. selaku koordinator TA atas bimbingan dan dukungan yang diberikan.
4. Manager, Supervisor, Kepala Laboratorium, dan seluruh pihak PDAM khususnya IPAM X atas bimbingan dan ilmu yang diberikan.
5. Teman-teman Altar dan Departemen Teknik Lingkungan atas dukungan dan semangat yang diberikan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada ayah, ibu, seluruh keluarga serta (alm.) Riyaman, S.Pd., M.M.Pd. atas doa, dukungan, dan kepercayaan yang diberikan. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan segala bentuk kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

Surabaya, Januari 2019

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Persyaratan Wajib Kualitas Air Minum	5
2.2 Proses Pengolahan Air Minum	7
2.3 Metode FMEA.....	9
2.4 Diagram <i>Fishbone</i>	12
2.5 Penelitian Terdahulu.....	14
BAB III GAMBARAN UMUM INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM.....	17
3.1 Umum	17
3.2 Sistem Pengolahan	17
3.2.1 Intake	17
3.2.2 Bak Koagulasi.....	19
3.2.3 Bak Flokulasi (<i>Baffle Channel</i>)	19
3.2.4 Bak sedimentasi (Sedimentasi)	20
3.2.5 Kanal III.....	20
3.2.6 Unit Filter (Rapid Sand Filter)	21
3.2.7 Reservoir	22
3.2.8 Pompa Distribusi.....	22
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	23
4.1. Kerangka Penelitian	23
4.2. Langkah Kerja Penelitian.....	25

4.2.1.	Studi Literatur	25
4.2.2.	Pengumpulan Data	25
4.2.3.	Penelitian Pendahuluan.....	25
4.2.4.	Penggunaan <i>Fishbone</i>	27
4.2.5.	Penggunaan Metode FMEA	28
4.2.6.	Analisis Data dan Pembahasan	31
4.2.7.	Kesimpulan dan Saran	31
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN		33
5.1.	Karakteristik Air Baku	33
5.2.	Karakteristik Air IPAM X	33
5.2.1.	Analisis Keketuhan	34
5.2.2.	Analisis pH.....	35
5.2.3.	Analisis Sisa Klor	35
5.2.4.	Analisis TDS	36
5.2.5.	Analisis $KMnO_4$	36
5.3.	Efisiensi Unit Pengolahan.....	37
5.3.1.	Efisiensi Unit Prasedimentasi (Kanal)	37
5.3.2.	Efisiensi Unit Bak Sedimentasi.....	39
5.3.3.	Efisiensi Unit Filter	40
5.4.	Analisis Diagram <i>Fishbone</i>	42
5.4.1.	Unit Kanal	43
5.4.2.	Unit Bak Koagulasi dan Flokulasi	43
5.4.2.1.	Koagulasi	43
5.4.2.2.	Flokulasi	44
5.4.3.	Unit Bak Sedimentasi	45
5.5.	Penggunaan Metode FMEA	46
5.5.1.	Penentuan Bobot <i>Severity</i> , <i>Occurrence</i> , dan <i>Detection</i>	48
5.5.2.	Pembobotan <i>Severity</i>	48
5.5.3.	Pembobotan <i>Occurrence</i>	59
5.5.4.	Pembobotan <i>Detection</i>	61
5.5.5.	Penentuan Risk Priority Number	64
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		68

5.2. Kesimpulan	68
5.2. Saran	68
DAFTAR PUSTAKA	70
BIOGRAFI PENULIS	89

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum	7
Tabel 2. 2 Kriteria Skala Pembobotan <i>Severity</i>	10
Tabel 2. 3 Kriteria Skala Pembobotan <i>Occurance</i>	11
Tabel 2. 4 Kriteria Skala Pembobotan <i>Detection</i>	11
Tabel 3. 1 Media pada Filter.....	21
Tabel 4. 1 Skala Pembobotan <i>Severity</i>	28
Tabel 4. 2 Skala Pembobotan <i>Occurance</i>	29
Tabel 4. 3 Skala Pembobotan <i>Detection</i>	30
Tabel 5. 1 Data Karakteristik Air Baku IPAM X	33
Tabel 5. 2 Analisis Parameter Kekeuhan	34
Tabel 5. 3 Analisis Paramater pH.....	35
Tabel 5. 4 Analisis KMnO ₄	37
Tabel 5. 5 Efisiensi Unit Kanal	38
Tabel 5. 6 Efisiensi Unit Sedimentasi.....	39
Tabel 5. 7 Efisiensi Unit Filter.....	40
Tabel 5. 8 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko waktu tinggal pada unit kanal	49
Tabel 5. 9 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko v horizontal pada unit kanal	50
Tabel 5. 10 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko waktu tinggal pada unit bak koagulasi.....	51
Tabel 5. 11 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko gradient kecepatan pada unit bak koagulasi	51
Tabel 5. 12 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko waktu tinggal pada unit bak flokulasi	52
Tabel 5. 13 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko gradient kecepatan unit flokulasi.....	53
Tabel 5. 14 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko waktu tinggal unit bak sedimentasi	54
Tabel 5. 15 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko beban permukaan pada bak sedimentasi.....	55
Tabel 5. 16 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko nilai Froude pada bak sedimentasi	56
Tabel 5. 17 Batasan nilai <i>Severity</i> resiko nilai Reynold pada bak sedimentasi	57
Tabel 5. 18 Batasan nilai <i>Severity</i> weir loading.....	57
Tabel 5. 19 Penentuan Nilai <i>Severity</i> Unit Instalasi	58

Tabel 5. 20 Penilaian <i>Occurrence</i> pada Unit Kanal	59
Tabel 5. 21 Penilaian <i>Occurrence</i> pada Unit Koagulasi.....	60
Tabel 5. 22 Penilaian <i>Occurrence</i> pada Unit Flokulasi	60
Tabel 5. 23 Penilaian <i>Occurrence</i> pada Unit Bak sedimentasi ...	61
Tabel 5. 24 Penilaian <i>Detection</i> pada Unit Kanal.....	62
Tabel 5. 25 Penilaian <i>Detection</i> pada Unit Koagulasi	62
Tabel 5. 26 Penilaian <i>Detection</i> pada Unit Flokulasi.....	63
Tabel 5. 27 Penilaian <i>Detection</i> pada Unit Bak sedimentasi	63
Tabel 5. 28 Hasil Perhitungan Nilai RPN untuk Setiap Risiko	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Diagram <i>Fishbone</i>	14
Gambar 3. 1 Sistem Pengolahan IPAM X	18
Gambar 4. 1 Kerangka Penelitian	24
Gambar 4. 2 Titik sampling inlet bak koagulasi (a), titik sampling inlet bak filter (b), dan titik sampling outlet bak filter.	26
Gambar 5. 1 Efisiensi Unit Kanal	38
Gambar 5. 2 Efisiensi Pengendapan.....	40
Gambar 5. 3 Efisiensi Penyaringan	41
Gambar 5. 4 Diagram <i>Fishbone</i> IPAM X.....	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	72
LAMPIRAN B	77
LAMPIRAN C	84
LAMPIRAN D	87

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PDAM X menggunakan sekitar 95% air baku dari sungai untuk kemudian diproses menjadi air bersih yang digunakan masyarakat di Kota. Pada kenyataannya air sungai tersebut mendapat banyak pencemaran dari lingkungan sekitarnya, baik berasal dari limbah industri maupun limbah domestik. (Septine, *et al.* 2013). Hasil pemantauan Badan Lingkungan Hidup (BLH) pada tahun 2013 menunjukkan bahwa sungai tersebut 69,45% berstatus cemar ringan, 22,22% berstatus cemar sedang, dan 8,33% berstatus cemar berat dengan konsentrasi parameter BOD dan TSS melebihi baku mutu air kelas II. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa sungai terkait tidak layak untuk dijadikan sumber air baku pemenuhan kebutuhan air minum. (Rahmawati, *et al.* 2014)

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) sebagai perusahaan yang bertanggung jawab dalam pengolahan dan penyediaan air bersih untuk pemenuhan kebutuhan masyarakat, memiliki enam Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) yang meliputi; IPAM I (kapasitas 1.800 lt/dt), IPAM II (kapasitas 1.000 lt/dt), IPAM X (kapasitas 1.750 lt/dt), IPAM IV (kapasitas 1.450 lt/dt), IPAM V (kapasitas 2.750 lt/dt), dan VI (kapasitas 2.000 lt/dt). Dari keenam IPAM tersebut di atas, IPAM X merupakan instalasi yang memiliki unit pengolahan konvensional dibandingkan dengan IPAM yang lain.

Beban pencemar air baku yang tinggi, status air sungai yang dinyatakan tidak layak sebagai air baku serta sistem pengolahan IPAM X yang bersifat konvensional berpengaruh pada kualitas dari air produksi. Dari hasil penelitian pendahuluan, didapatkan bahwa terdapat permasalahan berupa tidak terpenuhinya kebutuhan sisa klor pada air produksi (0 mg/l). Hal ini menjadi ide dalam penelitian ini untuk melakukan analisis kajian resiko terhadap pengolahan dari IPAM X yang berefek pada penurunan kualitas air produksi.

Analisis terkait permasalahan dalam IPAM X tersebut dapat dikaji dengan menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). FMEA merupakan metode yang dapat

digunakan untuk mencari, mengidentifikasi, dan menghilangkan masalah dalam suatu sistem, desain, ataupun jasa sebelum permasalahan tersebut sampai ke konsumen (Puspitasari dan Martanto, 2014). Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji resiko pada pengolahan IPAM X yang berefek pada penurunan kualitas air produksi. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi pertimbangan evaluasi dan perbaikan oleh pihak terkait.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apa saja sumber-sumber kegagalan dalam proses pengolahan IPAM X yang menyebabkan penurunan kualitas air produksi?
2. Apakah kegagalan terbesar dalam nilai *risk priority number* yang terdapat pada IPAM X?
3. Apakah usulan perbaikan yang dapat diterapkan oleh IPAM X?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi sumber kegagalan dalam proses pengolahan IPAM X yang menyebabkan penurunan kualitas air produksi.
2. Menentukan kegagalan terbesar dalam *risk priority number* yang terdapat pada IPAM X.
3. Memberikan usulan perbaikan yang dapat diterapkan oleh IPAM X.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah identifikasi resiko kegagalan dan saran perbaikan operasional pada IPAM X sehingga dapat dilakukan antisipasi oleh pihak terkait agar tidak terjadi penurunan kualitas air produksi yang dapat berdampak pada kepuasan pelanggan.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini meliputi:

1. Lokasi penelitian bertempat di IPAM X dan Laboratorium IPAM X.

2. Sampel yang digunakan berasal dari air baku, *intake*, *outlet* bak sedimentasi, *outlet* unit filter, dan air produksi.
3. Parameter yang dianalisis yaitu sisa klor, pH, kekeruhan, TDS, dan zat organik.
4. Aspek yang dikaji meliputi aspek teknis berupa *machine* (pemilihan unit/teknologi) beserta kinerja dari teknologi yang digunakan.
5. Metode yang digunakan merupakan metode FMEA.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persyaratan Wajib Kualitas Air Minum

Air yang diproses untuk memenuhi kebutuhan air minum manusia harus memenuhi berbagai persyaratan kualitas air minum yang ditetapkan oleh pemerintah. Di Indonesia, persyaratan kualitas air minum diatur oleh Kementerian Kesehatan yang dituangkan dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia nomor 492 tahun 2010.

Persyaratan kualitas air minum terdiri atas parameter wajib dan parameter tambahan. Parameter wajib merupakan parameter yang wajib dipenuhi oleh pihak penyedia air minum. Sementara parameter tambahan merupakan parameter yang dapat ditambahkan, sesuai dengan kondisi dan lingkungan di daerah penyedia air minum. Terdapat 26 parameter wajib yang dapat dikelompokkan dalam parameter yang berhubungan langsung dengan kesehatan yaitu meliputi parameter mikrobiologi dan parameter kimia organik, serta parameter yang tidak berhubungan langsung dengan kesehatan yang meliputi parameter fisik dan parameter kimiawi. (Masduqi, 2012).

Parameter yang akan dianalisis pada penelitian ini meliputi: sisa klor, kekeruhan, pH, TDS, dan zat organik. Kadar maksimum parameter-parameter tersebut di atas yang diizinkan oleh Kementerian Kesehatan tercantum dalam Tabel 2.1.

1. Sisa klor

Pembubuhan gas klor diharapkan dapat mematikan mikroorganisme di dalam air minum sehingga air yang didistribusikan tersebut layak dikonsumsi. Menurut Masduqi (2012), pada proses desinfeksi air minum, ditambahkan dosis klor berlebih pada senyawa klor tersedia gabung agar terdapat sisa klor, yaitu klor tersedia bebas yang efisien sebagai desinfektan. Sisa klor di atas 0.5 mg/l dalam air dapat membunuh bakteri secara efektif, namun untuk nilai di atas 2 mg/l dapat menimbulkan bau.

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010 tentang tata laksana pengawasan kualitas air minum, kadar sisa klor yang diperbolehkan pada outlet reservoir memiliki nilai

maksimal 1 mg/l dan pada titik terjauh unit distribusi minimal 0.2 mg/l.

2. TDS

TDS merupakan indikator dari jumlah partikel organik dan non-organik terlarut dalam air. Zat atau partikel yang terlarut dalam air dapat berupa natrium, kalsium, magnesium, kalium, karbonat, klorida, dan sulfat. Menurut Yousefi (2015), TDS 0 berarti sama sekali tidak memiliki kandungan mineral di dalamnya, sehingga dapat berefek negatif terhadap kesehatan manusia, seperti kekurangan kadar kalium maupun magnesium. Sementara kandungan TDS yang melewati persyaratan akan berdampak pada kesadahan yang tinggi dan meninggalkan endapan pada pipa distribusi dan peralatan rumah tangga. Kadar TDS tinggi juga merupakan indikator kontaminan berbahaya seperti *bromide arsenic* yang berdampak negatif terhadap manusia.

3. Kekeruhan

Kekeruhan air ditimbulkan oleh bahan organik dan non-organik seperti lumpur dan buangan yang menyebabkan air menjadi keruh. Kekeruhan walaupun hanya seikit dapat menimbulkan perubahan warna menjadi lebih tua dari warna sesungguhnya. Air dengan kekeruhan yang tinggi dapat mengakibatkan kesulitan dalam proses penyaringan serta pada proses desinfeksi, yang mana jika kedua proses tersebut tidak berjalan optimal maka dapat berakibat pada turunnya kualitas air produksi. Kekeruhan pada air dapat dianalisis dengan menggunakan alat turbidimeter.

4. pH

pH air yang aman untuk manusia adalah yang berada dalam rentang 6.5 hingga 8.5. pH yang terlalu rendah ataupun tinggi dapat mengindikasikan adanya pencemaran bahan kimia maupun logam berat. pH rendah membuat air bersifat asam dan bersifat korosif serta berbahaya bagi kesehatan. pH yang tinggi membuat air bersifat basa dan berpengaruh terhadap rasa, bau, serta dapat merusak pipa distribusi.

5. Zat Organik (KMnO₄)

Zat organik pada air minum dapat berasal dari alam maupun kegiatan manusia. Zat organik dari alam berasal dari pembusukan tumbuhan dan mikroorganisme, sementara yang

berasal dari aktivitas manusia ditimbulkan dari kegiatan rumah tangga, pertanian, dan industry yang mengeluarkan limbah organik sesuai produk dan prosesnya (Susanti, 2016).

Keberadaan zat organik pada air minum dapat berdampak pada kesehatan. Zat organik pada desinfeksi dapat menjadi pemicu terbentuknya senyawa karsinogenik dan mutagenik. Analisis zat organik pada air minum dilakukan dengan metode titrimetri dengan menghitung jumlah $KMnO_4$ yang berperan sebagai oksidator zat organik.

Tabel 2. 1 Parameter Wajib Persyaratan Kualitas Air Minum

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang Diizinkan
1.	Sisa klor	mg/L	1*
2.	Total zat padat terlarut (TDS)	mg/L	500
3.	Kekeruhan	NTU	5
4.	pH		6,5 - 8,5
5.	Zat Organik ($KMnO_4$)	mg/L	10

*Nilai maksimal pada reservoir

Sumber: Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010

Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 736/Menkes/Per/VI/2010

2.2 Proses Pengolahan Air Minum

Menurut Masduqi dan Assomadi (2012), konsep pengolahan air dibagi menjadi tiga tahap, meliputi tahap pendahuluan (*pre-treatment*), tahap kedua (*secondary treatment*) dan tahap lanjutan (*advanced treatment*). Berdasarkan karakteristik dan sumber air baku, maka dasar proses pengolahan air permukaan adalah sebagai berikut: .

1. Intake

Intake merupakan saluran masuknya air baku menuju unit pengolahan. Masuknya air permukaan dapat melalui kanal

maupun pipa sadap. Pada unit intake dilengkapi unit saringan (*screen*) yang berfungsi untuk menahan padatan yang terdapat pada air baku IPAM. Padatan tersebut berupa benda kasar terapung atau melayang di dalam air seperti; plastik, kayu, kain, dan lain sebagainya. Penyaringan dimaksudkan agar tidak mengganggu dan memberatkan proses pengolahan di unit selanjutnya. Pembersihan dari *screen* dapat dilakukan secara manual maupun mekanis.

2. Koagulasi

Proses koagulasi berlangsung pada unit bak koagulasi. Pada unit tersebut, terdapat proses pengadukan cepat (*flashmix*) untuk mencampur koagulan alum dalam air. Hal tersebut berfungsi untuk mengikat partikel-partikel *dissolved* agar dapat tersisihkan dari air produksi. Proses koagulasi dapat dilakukan secara hidrolis dengan terjunan, ataupun secara mekanis dengan bantuan blower.

3. Flokulasi

Proses pengadukan lambat (*slow mix*) berlangsung untuk membentuk partikel flok yang lebih besar, untuk kemudian diendapkan di unit bak sedimentasi. Proses flokulasi dapat dilakukan secara mekanis dengan bantuan motor, ataupun secara hidrolis dengan menggunakan *baffled channel*.

4. Sedimentasi

Unit sedimentasi berfungsi sebagai unit yang menyisihkan partikelflokulen secara gravitasi. Partikel yang diendapkan dihasilkan dari proses koagulasi-flokulasi. Aliran air pada unit sedimentasi merupakan aliran laminar, agar tidak mengganggu proses pengendapan. Unit pengendap dapat berupa bak *rectangular* ataupun *clarifier*.

6. Filtrasi

Proses filtrasi berfungsi untuk memisahkan air produksi dari partikel tersuspensi dan koloid..Pada unit filter terdapat media berbutir yang berfungsi sebagai penyaring. Selain itu, fitrasi dapat menghilangkan bakteri secara efektif dan juga membantu penyisihan warna, rasa, bau, besi, dan mangan. Berdasarkan kecepatan aliran, filter terbagi menjadi saringan pasir lambat (*slow sand filter*) dan saringan pasir cepat (*rapid sand filter*). Berdasarkan *driving force*, filter terbagi menjadi filter gravitasi dan filter bertekanan.

7. Desinfeksi

Penambahan desinfektan dilakukan pada saluran setelah filter. Proses desinfeksi bertujuan untuk mensterilkan air produksi dari mikroba patogen. Secara umum, terdapat dua metode desinfeksi, yaitu melalui perlakuan fisik terhadap mikroba, dan melalui pemberian bahan kimia ke dalam air sehingga terjadi kontak antara bahan kimia dengan mikroba yang berakibat matinya mikroba.

2.3 Metode FMEA

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) adalah sebuah metode untuk menganalisis masalah-masalah potensial dalam suatu siklus pengembangan proyek, sehingga mempermudah penanggulangan dan tindak lanjut terhadap masalah tersebut (Sharma, 2008). Metode FMEA merupakan metode yang akurat dalam mengidentifikasi kegagalan produk atau sistem, frekuensi kegagalan, dan potensi penyebab dari kegagalan (Sellapan dan Astuti, 2012). Semakin tinggi nilai dari FMEA, semakin tinggi pula resiko dari kegagalan tersebut. Variabel yang umumnya digunakan untuk menghitung resiko meliputi; frekuensi kegagalan (*occurrence*), banyaknya bagian atau komponen dalam kegagalan (*component*), kemampuan untuk mendeteksi kegagalan (*Detection*), kemungkinan-kemungkinan kegagalan yang terjadi (*potential failure mode*), dan tingkat parah tidaknya suatu kegagalan (*Severity*). *Risk Priority Number* (RPN) merupakan perhitungan dari masing-masing potensi kegagalan. Nilai RPN didapatkan dari perhitungan perkalian dari nilai *occurrence*, *Detection*, dan *Severity* (Curkovic, et al. 2013).

Menurut Welborn (2007), proses kerja dari metode FMEA adalah sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kategori resiko yang terdapat pada suatu sistem atau proses.
2. Mengidentifikasi *potential failure mode* yang terdapat pada sistem atau proses.
3. Melakukan pembobotan pada variabel *Severity* (S), *Occurance*(O), dan *Detection*(D) dari masing-masing *potential failure mode*. Kriteria skala pembobotan masing-masing variabel tersebut terdapat pada Tabel 2.2 sampai 2.4.

4. Menghitung nilai RPN dari setiap kegagalan. *Potential failure mode* dengan nilai RPN yang paling tinggi menunjukkan tingkat urgensi tindak lanjut kegagalan.
5. Memberikan saran perbaikan berdasarkan *potential failure mode* dengan nilai RPN tertinggi.

Tabel 2. 2Kriteria Skala Pembobotan *Severity*

Dampak	Tingkat Keseriusan Dampak	Peringkat
Berbahaya tanpa peringatan	Kegagalan tidak didahului peringatan	10
Berbahaya dengan peringatan	Kegagalan didahului oleh peringatan	9
Sangat tinggi	Produk tidak dapat dioperasikan, kehilangan fungsi utama	8
Tinggi	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja yang banyak berkurang	7
Sedang	Produk dapat dioperasikan, sebagian fungsi sekunder tidak dapat berfungsi	6
Rendah	Produk dapat dioperasikan dengan tingkat kinerja fungsi sekunder yang banyak berkurang	5
Sangat rendah	Dapat dioperasikan, dengan cacat >75% disadari pelanggan	4
Minor	Dapat dioperasikan, dengan cacat 50% disadari pelanggan	3
Sangat minor	Dapat dioperasikan, dengan cacat <25% disadari pelanggan	2
Tidak ada	Tidak ada pengaruh	1

(Sumber: Carlson, 2012)

Tabel 2. 3Kriteria Skala Pembobotan *Occurance*

Probabilitas Terjadinya Resiko	Frekuensi	Peringkat
Sangat tinggi	100 per 1000 item; >1 dalam 10 kejadian	10
Tinggi	50 per 1000 item; 1 dalam 20 kejadian	9
	20 per 1000 item; 1 dalam 50 kejadian	8
	10 per 1000 item; 1 dalam 100 kejadian	7
Sedang	5 per 1000 item; 1 dalam 200 kejadian	6
	2 per 1000 item; 1 dalam 500 kejadian	5
	1 per 1000 item; 1 dalam 1000 kejadian	4
Rendah	0,5 per 1000 item; 1 dalam 2000 kejadian	3
	0,1 per 1000 item; 1 dalam 10.000 kejadian	2
Sangat rendah	0,1 per 1000 item; 1 dalam 100.000 kejadian	1

(Sumber: Carlson, 2012)

Tabel 2. 4Kriteria Skala Pembobotan *Detection*

Kemungkinan Deteksi	Berdasarkan frekuensi kejadian	Peringkat
Pengontrol tidak dapat mendeteksi kegagalan	100 per 1000 item	10
Sangat jauh kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	50 per 1000 item	9

Kemungkinan Deteksi	Berdasarkan frekuensi kejadian	Peringkat
Jarang kemungkinan pengontrol akan menemukan potensi kegagalan	20 per 1000 item	8
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat rendah	10 per 1000 item	7
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan rendah	5 per 1000 item	6
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sedang	2 per 1000 item	5
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan agak tinggi	1 per 1000 item	4
Kemungkinan pengontrol mendeteksi kegagalan tinggi	0,5 per 1000 item	3
Kemungkinan pengontrol untuk mendeteksi kegagalan sangat tinggi	0,1 per 1000 item	2
Kegagalan dalam proses tidak dapat terjadi karena telah dicegah melalui desain solusi	0,01 per 1000 item	1

(Sumber: Gasperz, 2002)

2.4 Diagram Fishbone

Menurut Scarvada (2004), diagram *fishbone* adalah suatu alat visual untuk mengidentifikasi, mengeksplorasi, dan secara

grafik menggambarkan secara detail semua penyebab yang berhubungan dengan suatu permasalahan. Diagram *fishbone* digunakan untuk mengidentifikasi akar permasalahan atau alasan mendasar dari sebuah kondisi atau permasalahan, menata dan menghubungkan interaksi dari faktor-faktor yang berpengaruh pada proses tertentu, serta untuk menganalisis permasalahan yang ada agar dapat ditentukan tindakan yang tepat untuk menanggulangi permasalahan tersebut.

Konsep dasar dari diagram *fishbone* adalah permasalahan mendasar diletakkan pada bagian kanan dari diagram atau pada bagian kepala dari kerangka tulang ikannya. Penyebab permasalahan digambarkan pada sirip dan durinya. Kategori penyebab permasalahan yang sering digunakan sebagai *start* awal meliputi *materials* (bahan baku), *machines and equipment* (mesin dan peralatan), *manpower* (sumber daya manusia), *methods* (metode), dan *mother nature/environment* (lingkungan). Kelima penyebab munculnya permasalahan ini sering disingkat dengan 5M. penyebab lain dari masalah selain 5M tersebut dapat dipilih jika diperlukan. Untuk mencari penyebab dari permasalahan, baik yang berasal dari 5M seperti dijelaskan di atas maupun penyebab yang mungkin lainnya dapat digunakan teknik *brainstorming*.

Berikut merupakan langkah penyusunan diagram *fishbone*:

1. Membuat kerangka diagram *fishbone* yang meliputi kepala ikan, sirip, dan duri ikan. Kepala ikan diletakkan di sebelah kanan diagram, digunakan untuk menyatakan permasalahan utama dalam penelitian. Sirip digunakan untuk menuliskan kelompok penyebab dari permasalahan. Duri digunakan untuk menyatakan penyebab dari permasalahan utama. Contoh bentuk diagram *fishbone* digambarkan dalam Gambar 2.1.
2. Merumuskan masalah utama. Masalah merupakan perberdaan antara kondisi ideal yang ada dengan kondisi yang diinginkan (Robbins and Coulter, 2012). Masalah utama ini diletakkan di kepala ikan atau bagian kanan diagram.
3. Mencari faktor-faktor utama yang berpengaruh pada permasalahan. Langkah ini dapat dilakukan dengan teknik *brainstorming*. Penyebab permasalahan dapat

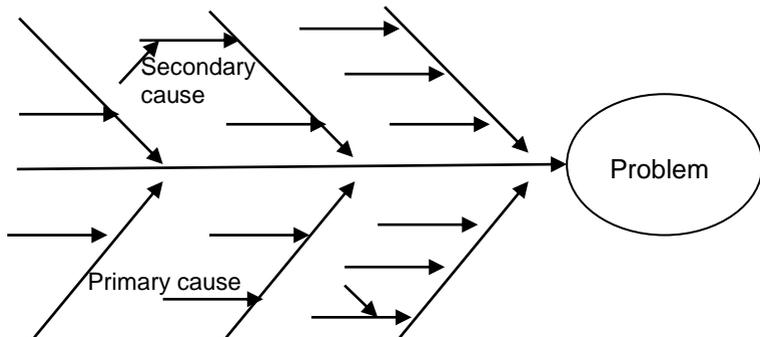
dikelompokkan dalam enam golongan, seperti yang sudah dijelaskan di atas. Faktor-faktor penyebab masalah ini ditempatkan di *fishbone* pada sirip ikan.

4. Menemukan penyebab untuk masing-masing kelompok penyebab utama masalah (sirip ikan). Penyebab tersebut diletakkan pada duri ikan. Contoh dari penyebab masalah ini adalah sebagai berikut.

Penyebab masalah utama (sirip ikan): Kelompok SDM

Misal, permasalahan SDM terkait dengan pegawai di perusahaan. Penyebab dari unsur pegawai ini adalah rendahnya kompetensi dan penempatan pegawai yang tidak sesuai dengan bidangnya.

5. Langkah selanjutnya setelah masalah dan penyebab-penyebabnya diketahui, adalah menggambarkannya dalam diagram *fishbone*.



Gambar 2. 1 Diagram *Fishbone*

Sumber: Scarvada 2014

2.5 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan metode FMEA dalam menganalisis permasalahan yang diteliti. Penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan metode FMEA dalam bidang ilmu Teknik Lingkungan adalah sebagai berikut:

- Analisis Penurunan Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X dengan Metode *Failure*

- Mode and Effect Analysis (FMEA)* oleh Nadia Fitrianti (2016). Penelitian menggunakan metode FMEA untuk menganalisis penurunan kualitas air produksi pada suatu IPAM, sehingga dapat dijadikan referensi dalam penelitian yang dilakukan.
- Analisis Penurunan Kinerja Unit IPAM Karang Pilang I Menggunakan Metode FMEA oleh Cherry Ramadani Widyaningrum(2016).Penelitian menggunakan metode FMEA untuk menganalisis penurunan kinerja suatu IPAM, sehingga dapat dijadikan referensi dalam penelitian yang dilakukan.
 - *Assessment* Resiko Bahaya Pemakaian Air Isi Ulang Sebagai Pemenuhan Air Bersih dan Upaya Meminimisasi Dampak Negatifnya oleh Prof. Dr. Ir. Nieke Karnaningroem, M.Sc. (2017). Penelitian menggunakan metode FMEA untuk menganalisis depo isi ulang, metode yang digunakan dapat dijadikan referensi dalam penelitian yang dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

GAMBARAN UMUM INSTALASI PENGOLAHAN AIR MINUM

3.1 Umum

IPAM X dirancang oleh *Neptune Microfloc* (USA) dibangun pada tahun 1982 dan mulai beroperasi pada tanggal 1 Juni 1982 dengan kapasitas 1.000 liter/detik. Kapasitas instalasi pada tahun 1997 ditingkatkan menjadi 1.500 liter/detik dengan penambahan 4 filter baru, pompa air baku dan distribusi. Pada tahun 2006 dilakukan kembali dilakukan peningkatan kapasitas produksi sebesar 250 liter/detik menjadi 1750 liter/detik.

Air baku diambil dari sungai melalui sistem aliran gravitasi pada DAM. Kualitas dari air baku berubah-ubah setiap tahunnya, yang disebabkan oleh beberapa faktor. Pada musim kemarau (April s/d September) tingkat pencemaran sangat tinggi disebabkan oleh zat-zat organik dan buangan limbah industri.

3.2 Sistem Pengolahan

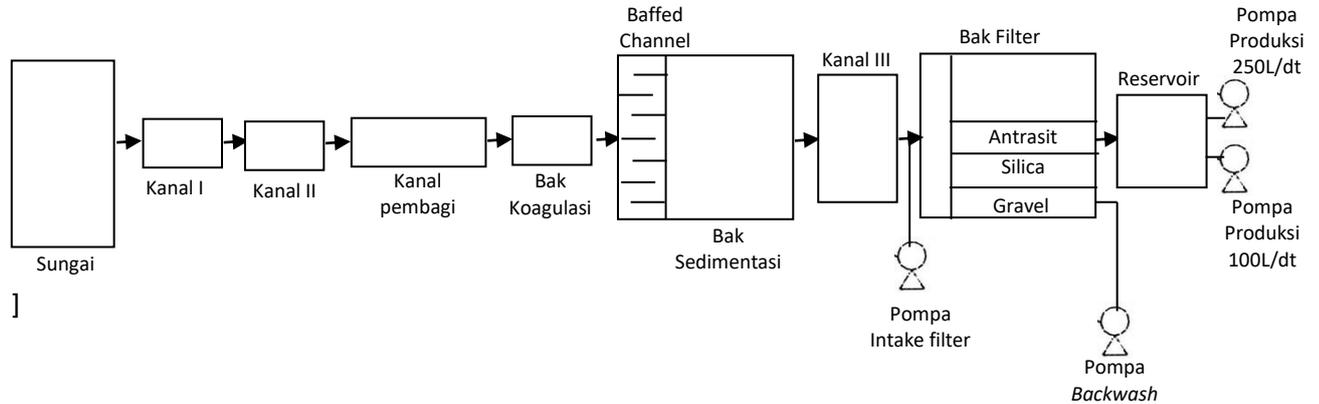
Sistem pengolahan air yang dirancang untuk IPAM X pada awalnya merupakan sistem filtrasi langsung (*direct filtration*). Pada tahun 1997, instalasi ditingkatkan meliputi proses sebagai berikut:

3.2.1 Intake

Intake pada IPAM X berupa saluran masuknya air sungai menuju IPAM I, II, dan X. Masuknya air sungai ke dalam intake dibantu dengan adanya pintu air DAM yang mengatur ketinggian air sungai. Bangunan intake tersebut berupa bangunan sadap yang memiliki kapasitas mencapai 6500 L/detik.

Air baku yang telah masuk melalui intake kemudian dialirkan ke masing-masing IPAM I, II, dan X melalui kanal, Kanal tersebut juga difungsikan sebagai unit prasedimentasi untuk mengendapkan partikel kasar (*grit*) yang terbawa air. Pada musim kemarau, dilakukan pembubuhan KMnO_4 pada kanal untuk mengoksidasi zat-zat organik.

Spesifikasi unit kanal adalah sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Sistem Pengolahan IPAM X

Sumber: Data Teknis Instalasi Pengolahan Air Minum X

Kanal I

- Berbentuk tiga saluran kanal terbuka dengan dimensi 8 x 240 meter dan kedalaman 2 meter.
 - Kecepatan aliran: 0.2 – 0.25 m/s
 - Debit: 4250 L/detik
 - Berfungsi sebagai pengendap partikel kasar (grit)
- Spesifikasi unit kanal II adalah sebagai berikut:

Kanal II

- Berbentuk dua saluran kanal terbuka dengan dimensi 6 x 240 meter dan kedalaman 2 meter, dihubungkan dengan kanal pembagi berpintu.
- Kecepatan aliran: 0.17 m/s
- Debit: 2750 L/detik.
- Di ujung awal kanal dilakukan aerasi dengan blower. Pada musim kemarau dilakukan pembubuhan KMnO_4 sebagai oksidator.

Kanal Pembagi (Kanal Golak)

- Berbentuk kanal terbuka untuk membagi air ke IPAM X I dan II
- Terdapat 8 buah blower untuk aerasi, yang dioperasikan sesuai kebutuhan
- Terdapat pembubuhan karbon aktif yang dilakukan sesuai kebutuhan
- Debit: 1750 L/detik
- Lebar x kedalaman: 1.5 m x 1.5 m

3.2.2 Bak Koagulasi

Proses koagulasi berlangsung dalam bak terbuka dengan menggunakan blower untuk mencampur koagulan dengan air.

- Proses koagulasi menggunakan bantuan blower
- Terdapat pembubuhan koagulan berupa tawas untuk proses flokulasi
- Terdapat tiga unit bak koagulasi dengan dimensi p x l x h = 1.5 x 1.5 x 3 m
- Jumlah unit: 3 buah

3.2.3 Bak Flokulasi (*Baffle Channel*)

Air yang telah melewati proses koagulasi kemudian dialirkan menuju *baffled channel*. Terdapat dua unit *baffle*

channel pada IPAM X, satu unit dialirkan menuju bak sedimentasi 1, 2, dan 3, sementara unit lainnya dialirkan menuju bak sedimentasi 4, 5, dan 6.

- Panjang : 28 m
- Lebar : 0.91 m
- Kedalaman : 1.5 m
- Jumlah unit : 3 buah
- Jumlah kompartemen : 3 kompartemen
- Jarak antara ujung baffle dan dinding bak : 0.5 m
- Koefisien gesek (f') : 0.3 (faktor friksi baffle)
- Kompartemen I
 - Jumlah : 7 buah
 - Jarak antar baffle : 0.85 m
- Kompartemen II
 - Jumlah : 6 buah
 - Jarak antar baffle : 0.65 m
- Kompartemen III
 - Jumlah : 4 buah
 - Jarak antar baffle : 0.45 m

Terdapat pembubuhan polymer untuk membantu proses flokulasi.

3.2.4 Bak sedimentasi (Sedimentasi)

Bak sedimentasi terbuka berfungsi untuk mengendapkan flok yang sudah terbentuk dari proses sebelumnya. Air dari *baffled channel* mengalir secara gravitasi menuju bak sedimentasi. Berikut adalah spesifikasi unit pengendap:

- Banyak unit : 6 unit
- Panjang : 95meter
- Lebar : 28 meter
- Kedalaman : 3 meter
- *Freeboard* : 0.2 meter

3.2.5 Kanal III

Unit berupa bak terbuka sebagai penampung air dari bak sedimentasi yang akan dipompa ke filter.

- Panjang : 152 m
- Lebar : 7 m
- Kedalaman : 2.5 m

Kanal dilengkapi dengan pompa air sungai untuk mengalirkan air ke unit filter.

- Jumlah pipa (sentrifugal) : 10 unit
- Kapasitas : 325 L/dt per unit
- Ø pipa : 900 mm

3.2.6 Unit Filter (Rapid Sand Filter)

Air dari unit kanal III dialirkan menuju bak filter melalui pompa air sentrifugal. Unit filter pada IPAM X merupakan *rapid sand filter* yang melakukan penyaringan secara gravitasi. Berikut merupakan spesifikasi unit filter:

- Jumlah filter : 18 unit
 - Tipe : dual media
 - Arah aliran : downflow
 - Sistem *backwash* : otomatis
 - Kecepatan filtrasi : 9.8 m/jam
 - Waktu filtrasi : 12 jam/L
 - Panjang bak : 8.32 meter
 - Lebar bak : 3.57 meter
 - Kedalaman : 4 meter
 - *Freeboard* : 0.65 meter (saat
backwash)
- Backwash:*
- Cuci permukaan : 5 menit
 - Kecepatan pencucian : 31 m/jam
 - Lama pencucian : 20 – 25 menit

Tabel 3. 1Media pada Filter

Media	Ukuran (mm)	Tinggi (mm)
Antrasit	1.0 – 1.1	450
Silika	0.45 – 0.55	375
Kerikil I	4.76 – 9.52	75
Kerikil II	9.52 – 19.05	75
Kerikil III	19.05 – 36.10	75

Sumber: Data IPAM X

3.2.7 Reservoir

Setelah melalui proses desinfeksi, air dialirkan secara gravitasi menuju *ground reservoir*.

- Kapasitas : 3.600 m³
- Td :35 menit, untuk menyempurnakan proses desinfeksi

Data Desinfeksi

- Jumlah tabung : 4 buah (1 buah cadangan)
- BPC : 1.5 mg/L
- Kapasitas tangki : 1000 kg

3.2.8 Pompa Distribusi

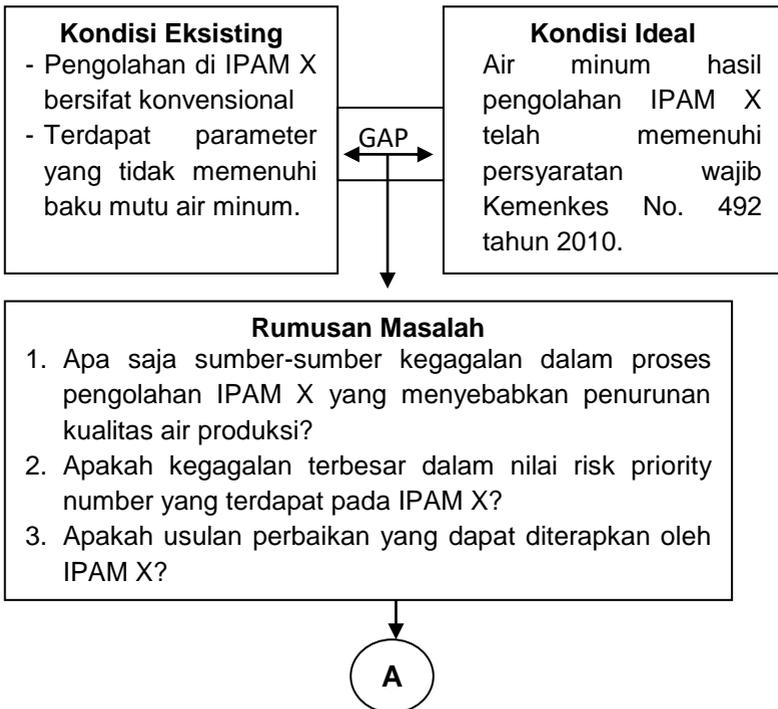
Air didistribusikan dari *ground reservoir* melalui 13unit pompa distribusi, 10unit pompa Kota Lama memiliki kapasitas 250 L/dt tiap unit, dan 3 unit pompa Kota Baru memiliki kapasitas 100 L/dt per unit.

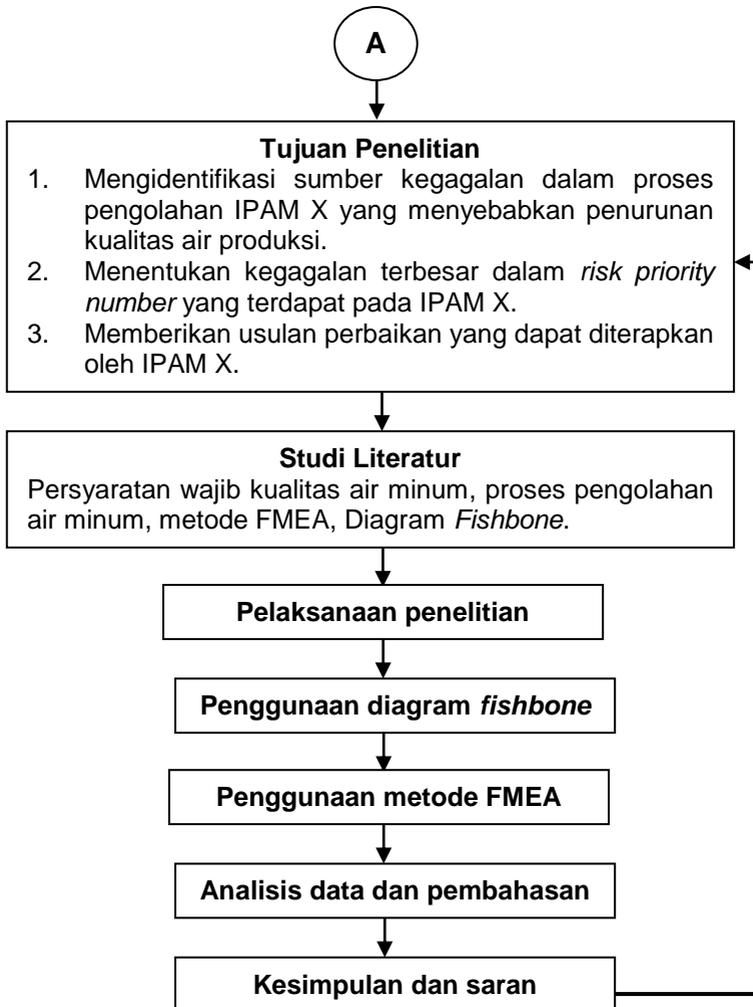
Gambar masing-masing unit pengolahan IPAM X dapat dilihat pada Lampiran A.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Kerangka Penelitian

Metode penelitian disusun dalam bentuk kerangka penelitian yang disusun secara jelas dan sistematis sebagai acuan dan petunjuk pelaksanaan penelitian. Kerangka terdiri atas *gap* antara kondisi eksisting dan kondisi ideal, sehingga dapat dirumuskan masalah masalah yang akan dikaji, penentuan tujuan penelitian serta pengumpulan data primer dan sekunder, analisis data beserta pembahasan hasil penelitian, kemudian ditutup dengan penarikan kesimpulan dan saran dari penelitian. Kerangka alur penelitian dapat dilihat pada Gambar4.1.





Gambar 4. 1 Kerangka Penelitian

4.2. Langkah Kerja Penelitian

Langkah kerja penelitian ini berisi tentang tahapan kerja yang akan dilakukan. Berikut adalah penjelasan tahap-tahap pelaksanaan penelitian:

4.2.1. Studi Literatur

Tinjauan pustaka dilakukan untuk menunjang jalannya proses penelitian dari awal hingga akhir. Tinjauan pustaka juga akan digunakan sebagai acuan untuk memperoleh dasar teori yang jelas dan kuat dalam melakukan penelitian, analisis, dan pembahasan untuk memperoleh kesimpulan dari hasil penelitian. Studi literatur dalam penelitian ini mencakup:

- Persyaratan wajib kualitas air minum
- Proses pengolahan air minum
- Diagram *fishbone*
- Metode FMEA
- Kondisi eksisting IPAM X

4.2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data bertujuan untuk mengumpulkan semua informasi yang terkait dengan penelitian. Data-data ini akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian.

- Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian. Data primer yang akan diperoleh dari penelitian didapatkan dari air produksi IPAM X dan hasil sampling efluen unit pengolahan dengan parameter yang meliputi: sisa klor, kekeruhan, pH, TDS, dan zat organik.

- Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari pihak yang telah melakukan pengumpulan data primer. Data sekunder yang digunakan pada penelitian ini meliputi data hasil analisis laboratorium air baku IPAM X pada Bulan September dan Oktober 2018 serta data teknis instalasi pengolahan air minum X.

4.2.3. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk mengetahui parameter apa yang tidak terpenuhi pada air produksi IPAM X.

Baku mutu dari parameter persyaratan air minum didasarkan pada Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010.

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan pengambilan sampling air produksi IPAM X. Parameter yang diuji adalah sisa klor, kekeruhan, pH, TDS, dan zat organik. Untuk analisis parameter sisa klor, pH, TDS, dan zat organik pengambilan dilakukan di kran air yang merupakan outlet dari reservoir IPAM X. Untuk analisis parameter kekeruhan, pengambilan sampel dilakukan pada intake, outlet bak sedimentasi, outlet filter, dan outlet reservoir (air produksi) seperti pada Gambar 4.2. Acuan metode pengambilan sampel dari SNI 06-2412-1991 tentang pengambilan contoh air. Prosedur pengambilan dan analisis sampel terdapat pada Lampiran C.



(a)

(b)

(c)

Gambar 4. 2 Titik sampling inlet bak koagulasi (a), titik sampling inlet bak filter (b), dan titik sampling outlet bak filter.

Sumber: Hasil Penelitian Lapangan

Sampel yang telah diambil kemudian dianalisis parameternya di Laboratorium IPAM X. Analisis laboratorium bertujuan untuk menganalisis parameter sisa klor, kekeruhan, pH, TDS, dan zat organik. Berikut merupakan metode analisis yang digunakan:

1. Sisa Klor

Analisis sisa klor dilakukan untuk mengetahui kadar sisa klor yang terdapat pada air produksi. Analisis ini dilakukan secara manual dengan menggunakan alat comparator.

2. Kekeuhan

Analisis dilakukan untuk mengetahui kekeuhan yang disebabkan oleh bahan organik dan non-organik seperti lumpur dan buangan yang menyebabkan air menjadi keruh. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan alat turbidimeter.

3. pH

Analisis pH digunakan untuk menentukan derajat keasaman air. Analisis menggunakan pH meter, dengan acuan metode SNI 06-6989 11-2004.

4. TDS

Analisis TDS dilakukan untuk mengetahui zat atau partikel yang terlarut dalam air dapat berupa natrium, kalsium, magnesium, kalium, karbonat, klorida, sulfat, serta mineral lainnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat TDS meter untuk analisis harian, dan menggunakan metode gravimetri untuk analisis mingguan.

5. Zat Organik (KMnO₄)

Analisis dilakukan untuk mengetahui adanya kandungan zat organik pada air produksi dengan menghitung kadar permanganat dalam air. Metode yang digunakan adalah metode titrimetri dengan acuan SNI 01-3554-2006.

Tidak terpenuhinya parameter di atas menunjukkan adanya masalah pada kinerja unit pengolahan IPAM X, yang kemudian akan dipetakan dengan diagram *fishbone* dan dianalisis menggunakan metode FMEA.

4.2.4. Penggunaan *Fishbone*

Diagram *Fishbone* digunakan untuk mengidentifikasi sumber permasalahan pada unit pengolahan yang berdampak pada tidak terpenuhinya parameter efluen IPAM X. Penggunaan diagram *fishbone* ini bertujuan untuk mempersempit fokus penelitian pada unit dan/atau proses yang bermasalah. Parameter yang tidak memenuhi baku mutu ditetapkan sebagai masalah utama yang digambarkan pada kepala ikan pada diagram, kemudian kriteria desain yang tidak terpenuhi

dan menjadi penyebab dari masalah utama dipetakan pada sirip ikan, hingga didapatkan sumber penyebab dari permasalahan utama berupa proses pengolahan yang dipetakan pada duri ikan. Selanjutnya hasil analisis dari duri ikan digunakan untuk analisis *Severity*, *occurance*, dan *Detection*. Analisis ini dilakukan dengan cara pengolahan data dan *brainstorming*.

4.2.5. Penggunaan Metode FMEA

Setelah sumber masalah diidentifikasi dengan diagram *fishbone*, dilanjutkan dengan metode FMEA. Berikut adalah tahapan penggunaan metode FMEA:

1. Dilakukan analisis *potential failure mode* dari kinerja unit pengolahan yang menyebabkan tidak terpenuhinya parameter yang dianalisis. Tahap ini didapatkan dari hasil analisis lab, pengamatan lapangan, dan analisis data sekunder. Tingkat kepentingan dari *potential failure mode* dapat dilihat dari hasil perhitungan RPN-nya, yang didapat dari analisis terhadap *Severity*, *occurance*, dan *Detection*. Analisis menggunakan skala 5 dalam pembobotannya.

- a. Analisis *Severity*

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui seberapa parah dampak yang ditimbulkan oleh kegagalan yang terjadi. *Output* dari analisis ini adalah dilakukan perbaikan kinerja terhadap unit pengolahan yang memiliki dampak paling tinggi pada kegagalan instalasi pengolahan.

Tabel 4. 1 Skala Pembobotan *Severity*

Peringkat	Kategori Keseriusan Dampak	Kriteria Keseriusan Dampak	Range Nilai
5	Berbahaya	Penurunan kinerja unit instalasi mempengaruhi proses produksi air bersih	≥81%
4	Tinggi	Penurunan kinerja unit instalasi tinggi, unit instalasi tidak dapat dioperasikan	61-80%

Peringkat	Kategori Keseriusan Dampak	Kriteria Keseriusan Dampak	Range Nilai
3	Sedang	Penurunan kinerja unit instalasi sedang, terdapat bagian yang tidak berfungsi	41-60%
2	Rendah	Penurunan kinerja unit instalasi kecil, perlu dilakukan penanganan	21-40%
1	Tidak ada	Penurunan kinerja unit instalasi tidak mempengaruhi proses produksi air bersih, instalasi bekerja secara normal	≤20%

Sumber: Hasil Penelitian

b. Analisis Occurance

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui seberapa sering kegagalan tersebut terjadi pada instalasi pengolahan.

Tabel 4. 2Skala Pembobotan *Occurance*

Peringkat	Probabilitas Kejadian	Frekuensi
5	Sangat sering	≥16 kejadian dalam 1 bulan atau terjadi setiap hari
4	Sering	12-15 kejadian dalam 1 bulan
3	Cukup sering	8-11 kejadian dalam 1 bulan

Peringkat	Probabilitas Kejadian	Frekuensi
2	Kadang-kadang	4-7 kejadian dalam 1 bulan
1	Jarang	≤3 kejadian dalam 1 bulan

Sumber: Hasil Penelitian

c. Analisis *Detection*

Analisis ini dilakukan untuk mendeteksi penurunan kinerja apa saja yang memiliki tingkat pengendalian yang paling sulit untuk dideteksi ataupun diperbaiki.

6. Dilakukan perhitungan nilai RPN. Nilai RPN diperoleh dari hasil perkalian antara skala *Severity(S)*, *Occurance(O)*, dan *Detection(D)*. Hasil dari RPN merupakan prioritas perbaikan yang perlu dilakukan oleh pihak perusahaan terkait.

$$RPN = S \times O \times D$$

Tabel 4. 3Skala Pembobotan *Detection*

Peringkat	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
5	Kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi. metode pencegahantidak efektif, penyebab selalu berulang	≥16 kejadian dalam 1 bulan atau terjadi setiap hari
4	Kemungkinan penyebab terjadi tinggi. metode pencegahantidak efektif, penyebab selalu berulang	12-15 kejadian dalam 1 bulan

Peringkat	Kriteria	Berdasarkan Frekuensi Kejadian
3	Kemungkinan penyebab terjadi sedang. metode pencegahantidak efektif, penyebab selalu berulang	8-11 kejadian dalam 1 bulan
2	Kemungkinan peyebab terjadi sangat rendah	4-7 kejadian dalam 1 bulan
1	Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul.	≤3 kejadian dalam 1 bulan

Sumber: Hasil Penelitian

7. Ditentukan tingkat prioritas perbaikan yang perlu dilakukan. Dari hasil RPN, dapat dilakukan penyusunan tingkat prioritas yang ditentukan dari nilai hasil RPN. Semakin tinggi hasil RPN yang didapatkan suatu *potential failure mode*, maka semakin penting pula tindaklanjut yang perlu dilakukan terhadap *potential failure* tersebut. (Fitrianti, 2016).

4.2.6. Analisis Data dan Pembahasan

Analisis data dan pembahasan dari penelitian ini dilakukan berdasarkan data yang diperoleh di lapangan dengan didasarkan pada studi literatur. Pembahasan dari analisis data ditampilkan dalam bentuk kalimat deskriptif, tabel, serta grafik. Data laboratorium hasil analisis parameter disajikan dalam bentuk tabel, dan data hasil perhitungan efisiensi dari unit pengolahan disajikan dalam bentuk grafik. Bentuk penyajian data dan pembahasan tersebut dilakukan untuk mempermudah dan memperingkas penyampaian hasil penelitian.

4.2.7. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini, kesimpulan diambil untuk menjawab tujuan dari penelitian. Kesimpulan diambil berdasarkan pada hasil analisis dan pembahasan. Dari hasil penelitian yang berupa *potential failure* dengan nilai RPN yang tertinggi, diberikan saran

perbaikan kepada IPAM X agar resiko-resiko yang telah dianalisis dapat diantisipasi dan ditanggulangi agar tidak berpengaruh kepada kualitas air minum dan berefek pada keluhan pelanggan. Selain itu, pemberian saran terhadap penelitian juga diperlukan untuk mengembangkan penelitian lanjutan.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Karakteristik Air Baku

Air baku yang digunakan oleh IPAM X I dan II berasal dari sungai. Debit serta kualitas dari air sungai berubah-ubah, sesuai dengan musim. Umumnya debit dan kekeruhan air sungai tinggi pada musim penghujan. Sebaliknya, debit dan kekeruhan air sungai menurun namun beban pencemaran meningkat pada musim kemarau. Tabel 5.1. menunjukkan data kualitas air baku dari IPAM X pada Bulan September dan Oktober. Untuk parameter zat organik pada Bulan Oktober didapatkan rata-rata sebesar 11.27 mg/l.

Tabel 5. 1Data Karakteristik Air Baku IPAM X

Bulan	Kekeruhan (NTU)	pH	TSS (mg/L)
Standar max.	5	6,5-8,5	50
07-Sep	12.8	7.35	8
14-Sep	8.84	7.25	8
21-Sep	8.93	7.17	8
28-Sep	8.84	7.1	8
04-Okt	9.89	7.24	10.9
11-Okt	6.11	7.35	10
18-Okt	5.51	7.25	12
25-Okt	5.38	7.19	6

Sumber: Laboratorium PDAM IPAMX

5.2. Karakteristik Air IPAM X

Kualitas air minum dari IPAM X mengacu pada standar yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan No. 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Analisis

pada penelitian ini dilakukan pada Bulan Oktober 2018. Parameter yang dianalisis meliputi kekeruhan, pH, TDS, zat organik, serta sisa klor. Titik pengambilan sampel untuk parameter kekeruhan dan pH berasal dari *outlet* unit pengolahan, sedangkan untuk parameter TDS, zat organik dan sisa klor berasal dari *outlet* reservoir (air produksi).

5.2.1. Analisis Kekeruhan

Sampel air untuk analisis kekeruhan dilakukan pada inlet bak koagulasi, outlet bak sedimentasi, outlet filter, serta air produksi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat Turbidimeter.

Tabel 5. 2 Analisis Parameter Kekeruhan

Tanggal	Inlet Koagulasi (NTU)	Outlet		Air Produksi (NTU)
		Sedimentasi (NTU)	Filter (NTU)	
23	10.8	5.02	2.78	1.06
24	4.21	4.22	1.89	0.81
25	5.57	4.71	1.45	0.88
26	7.22	4.88	1.56	0.97
29	6.04	6.26	1.42	0.86
30	3.41	4.53	1.44	1.01
31	5.49	5.82	1.22	0.84
Rata-rata	6.11	5.06	1.68	0.92

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.2.. di atas, terdapat kenaikan nilai kekeruhan dari unit koagulasi menuju outlet sedimentasi. Terjadinya kenaikan nilai kekeruhan ini menggambarkan adanya masalah pada proses pengendapan. Untuk nilai kekeruhan pada air produksi telah memenuhi persyaratan wajib Permenkes No. 492 Tahun 2010 dengan nilai maksimal 5 NTU.

5.2.2. Analisis pH

pH air yang aman untuk manusia adalah yang berada dalam rentang 6.5 hingga 8.5. pH yang terlalu rendah ataupun tinggi dapat mengindikasikan adanya pencemaran bahan kimia maupun logam berat. pH rendah membuat air bersifat asam dan bersifat korosif serta berbahaya bagi kesehatan. pH yang tinggi membuat air bersifat basa dan berpengaruh terhadap rasa, bau, serta dapat merusak pipa distribusi.

Analisis pH dilakukan pada outlet setiap unit pengolahan dengan menggunakan pH meter.

Tabel 5. 3 Analisis Parameter pH

Tanggal	Inlet Koagulasi	Outlet		Air Produksi
		Sedimentasi	Filter	
23	7.32	7.15	7.15	7.03
24	7.29	7.19	7.04	6.84
25	7.26	7.17	7.12	6.87
26	7.3	7.15	7.14	6.94
29	7.31	7.16	7.15	6.81
30	7.31	7.15	7.13	6.95
31	7.25	7.23	7.06	6.9
Rata-rata	7.29	7.17	7.11	6.91

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.3. di atas, diketahui bahwa parameter pH telah memenuhi persyaratan wajib Permenkes No. 492 Tahun 2010 yaitu berada dalam rentang 6,5-8,5.

5.2.3. Analisis Sisa Klor

Desinfeksi pada IPAM X dilakukan dengan pembubuhan gas klor. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 736/Menkes/Per/VII/2010 tentang Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum, kadar sisa klor yang diperbolehkan pada outlet reservoir memiliki nilai maksimal 1 mg/l dan pada titik terjauh unit distribusi minimal 0.2 mg/l.

Pengujian sisa klor pada air produksi IPAM X dilakukan secara manual dengan menggunakan *comparator*. Analisis dilakukan langsung di tempat pengambilan sampel, karena sisa klor mudah berubah terhadap waktu.

Berdasarkan hasil penelitian, diketahui bahwa terdapat sisa klor pada unit reservoir bernilai nol. Sisa klor tidak memenuhi persyaratan Peraturan Menteri Kesehatan RI Nomor 736/Menkes/Per/VI/2010 yang menetapkan bahwa sisa klor bernilai minimal 0.2 mg/l pada titik distribusi terjauh dan maksimal 1 mg/l pada reservoir. Tidak adanya sisa klor pada air produksi dapat menggambarkan kondisi tidak adanya senyawa untuk menguraikan zat organik serta membunuh mikroorganisme patogen.

5.2.4. Analisis TDS

TDS merupakan indikator dari jumlah partikel organik dan non-organik terlarut dalam air. Zat atau partikel yang terlarut dalam air dapat berupa natrium, kalsium, magnesium, kalium, karbonat, klorida, dan sulfat.

Analisis TDS pada air produksi IPAM X dilakukan secara mingguan dengan menggunakan metode gravimetri.

Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan rata-rata nilai TDS untuk Bulan Oktober sebesar 257 mg/l. Parameter TDS telah memenuhi persyaratan wajib Permenkes No. 492 Tahun 2010 dengan ketentuan kadar maksimum yang diperbolehkan sebesar 500 mg/l.

5.2.5. Analisis $KMnO_4$

Analisis zat organik pada air dilakukan dengan menghitung jumlah permanganat yang berfungsi sebagai oksidator zat organik pada air. Keberadaan zat organik pada proses desinfeksi dapat memicu terbentuknya senyawa karsinogenik dan mutagenik, contohnya trihalometan (THMs), asam haloasetik (HAAs), dan lain sebagainya.

Dari data pada Tabel 5.4., diketahui bahwa keberadaan zat organik pada air produksi IPAM X telah memenuhi parameter yang ditetapkan oleh Peraturan Kementerian Kesehatan No. 492 tahun 2010, yaitu dengan nilai maksimal sebesar 10 mg/l.

Tabel 5. 4 Analisis KMnO₄

Tanggal	KMnO ₄ (mg/l)
23	6.24
24	7.14
25	7.73
26	9.2
29	5.95
30	7.39
31	6.48
Rata-rata	7.16

Sumber: Hasil Penelitian

5.3. Efisiensi Unit Pengolahan

Efisiensi unit pengolahan dimaksudkan untuk mengetahui tingkat removal parameter kekeruhan dari masing-masing unit pengolahan. Nilai persentase efisiensi didapatkan dari menghitung selisih nilai kekeruhan inlet dan outlet unit, kemudian dibagi dengan nilai kekeruhan inlet dan dikali dengan 100%, seperti pada persamaan (5.1). Hasil perhitungan efisiensi unit pengolahan selama satu tahun untuk masing-masing unit terdapat pada Lampiran D.

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{inlet (NTU)} - \text{outlet (NTU)}}{\text{Inlet (NTU)}} \times 100\% \quad (5.1)$$

5.3.1. Efisiensi Unit Prasedimentasi (Kanal)

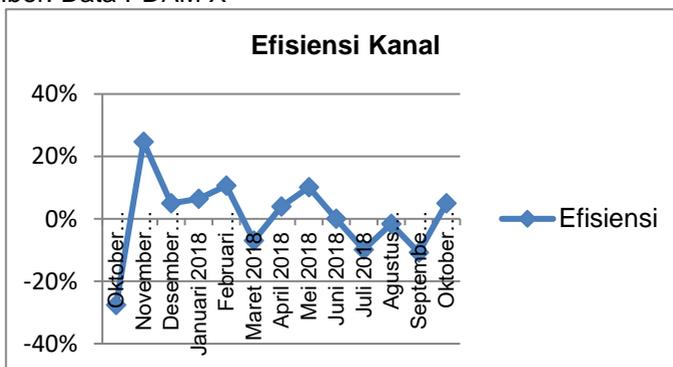
Fungsi dari unit kanal adalah untuk membagi aliran air baku menuju IPAM X I dan II, sekaligus sebagai unit prasedimentasi. Tujuan utama unit prasedimentasi adalah untuk mengendapkan partikel diskrit, yaitu partikel yang tidak mengalami perubahan ukuran, bentuk, maupun berat selama proses pengendapan (Budiyono dan Sumardiono, 2013).

Nilai kekeruhan inlet dan outlet masing-masing unit merupakan nilai kekeruhan rata-rata pada setiap bulannya.

Tabel 5. 5Efisiensi Unit Kanal

Bulan	Pengendalian		
	Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	Efisiensi
Oktober 2017	14.23	18.16	-28%
November2017	87.16	65.70	25%
Desember 2017	196.56	186.72	5%
Januari 2018	100.04	93.60	6%
Februari 2018	192.75	172.16	11%
Maret 2018	156.78	167.66	-7%
April 2018	125.14	120.15	4%
Mei 2018	31.29	28.11	10%
Juni 2018	24.22	24.20	0%
Juli 2018	16.82	18.48	-10%
Agustus 2018	12.69	12.90	-2%
September 2018	10.64	11.79	-11%
Oktober 2018	6.53	6.21	5%

Sumber: Data PDAM X



Gambar 5. 1 Efisiensi Unit Kanal

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Degreemont (1991), kriteria desain efisiensi kinerja unit prasedimentasi dalam menysihkan kekeruhan adalah sebesar 40-75%. Dari data pada Tabel 5.5. dapat diketahui bahwa unit kanal belum memenuhi kriteria efisiensi pengendapan parameter kekeruhan. Pada Gambar 5.1. dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan kekeruhan dari air sungai dengan outlet unit kanal. Kenaikan nilai kekeruhan tersebut dapat dimungkinkan terjadi karena adanya proses aerasi pada kanal golak (kanal pembagi) sehingga partikel yang terendap kembali tercampur dengan air.

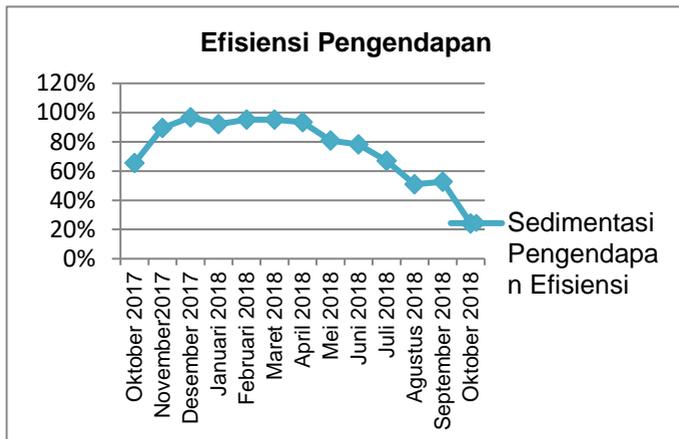
5.3.2. Efisiensi Unit Bak Sedimentasi

Bak sedimentasi berfungsi untuk mengendapkan partikel flok yang terbentuk dari proses flokulasi pada unit *baffled channel*.

Tabel 5. 6 Efisiensi Unit Sedimentasi

Bulan	Pengendapan		
	Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	Efisiensi
Oktober 2017	18.16	6.29	65%
November2017	65.70	6.97	89%
Desember 2017	186.72	6.03	97%
Januari 2018	93.60	7.33	92%
Februari 2018	172.16	8.35	95%
Maret 2018	167.66	8.30	95%
April 2018	120.15	7.96	93%
Mei 2018	28.11	5.41	81%
Juni 2018	24.20	5.29	78%
Juli 2018	18.48	6.11	67%
Agustus 2018	12.90	6.32	51%
September 2018	11.79	5.59	53%
Oktober 2018	6.21	4.71	24%

Sumber: Data PDAM X



Gambar 5. 2 Efisiensi Pengendapan

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Deegreemont (1991), efisiensi penurunan kekeruhan yang ideal pada unit ini adalah sebesar 40-75%. Dari Tabel 5.6. dan Gambar 5.2. didapatkan bahwa sebagian besar unit bak pengendap telah memenuhi kriteria desain penurunan kekeruhan.

5.3.3. Efisiensi Unit Filter

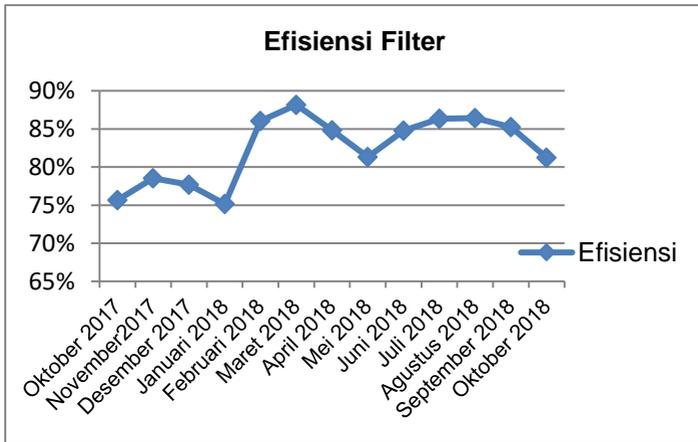
Unit filtrasi berfungsi untuk menyaring zat tersuspensi dengan melewati air melalui media berpori (Budiyono dan Sumardiono, 2013). Media yang digunakan pada unit filter adalah antrasit dan silika.

Tabel 5. 7 Efisiensi Unit Filter

Bulan	Penyaringan		
	Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	Efisiensi
Oktober 2017	6.29	1.53	76%
November 2017	6.97	1.50	79%
Desember 2017	6.03	1.35	78%

Bulan	Penyaringan		
	Inlet (NTU)	Outlet (NTU)	Efisiensi
Januari 2018	7.33	1.82	75%
Februari 2018	8.35	1.17	86%
Maret 2018	8.30	0.98	88%
April 2018	7.96	1.21	85%
Mei 2018	5.41	1.01	81%
Juni 2018	5.29	0.81	85%
Juli 2018	6.11	0.84	86%
Agustus 2018	6.32	0.86	86%
September 2018	5.59	0.82	85%
Oktober 2018	4.71	0.88	81%

Sumber: Data PDAM X



Gambar 5. 3 Efisiensi Penyaringan

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Degreemont (1991), kriteria desain efisiensi kinerja unit filter dalam menyisihkan kekeruhan adalah sebesar >50%. Pada Tabel 5.7. dan Gambar 5.3., kinerja dari unit filter telah memenuhi kriteria desain, dengan efisiensi penyaringan lebih dari 50%.

5.4. Analisis Diagram *Fishbone*

Penggunaan diagram *fishbone* pada penelitian ini adalah untuk memetakan penyebab kegagalan pada pengolahan di instalasi X, baik pada tidak terpenuhinya parameter maupun kriteria desain unit. Diagram *fishbone* tersebut menunjukkan identifikasi terhadap hal-hal mendasar yang mempengaruhi permasalahan pada proses dan desain dari unit pengolahan terkait.

Pembuatan diagram *fishbone* disesuaikan dengan kondisi pada lapangan. Permasalahan-permasalahan yang terdapat pada unit pengolahan dipengaruhi oleh beberapa faktor penyebab resiko yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada proses dalam unit pengolahan. Dalam menentukan faktor penyebab resiko dari masing-masing unit pengolahan, dilakukan perhitungan terhadap spesifikasi teknis dari setiap unit, perhitungan dapat dilihat pada Lampiran B. Hasil perhitungan spesifikasi teknis yang tidak memenuhi persyaratan kriteria desain, kemudian dipetakan kedalam duri pada diagram *fishbone* pada Gambar 5.4. sebagai faktor-faktor penyebab kegagalan.

Pada proses pra-sedimentasi, faktor penyebab resiko terdapat di unit kanal meliputi karakteristik aliran dan waktu tinggal. Pada proses koagulasi dan flokulasi terdapat faktor waktu tinggal, gradient kecepatan pengadukan, dan pembubuhan koagulan. Pada proses pengendapan di bak sedimentasi, terdapat faktor waktu tinggal, bilangan Reynold, bilangan Froude, dan weir loading.

Pada pembahasan efisiensi kinerja unit, diketahui bahwa unit-unit pengolahan belum memenuhi kriteria desain efisiensi penyisihan parameter kekeruhan yang ditetapkan. Berdasarkan hasil perhitungan yang terdapat pada Lampiran B, unit yang dianggap berpengaruh terhadap kegagalan proses pada instalasi meliputi unit kanal, koagulasi dan flokulasi, serta bak sedimentasi seperti yang digambarkan pada Gambar 5.4.

5.4.1. Unit Kanal

Pada diagram *fishbone* unit kanal Gambar 5.4., menunjukkan bahwa unit kanal sebagai prasedimentasi dipengaruhi oleh volume dan karakteristik aliran. Faktor volume dari kanal dipengaruhi oleh waktu tinggal. Karakteristik aliran dipengaruhi oleh kecepatan horizontal aliran.

a. Waktu tinggal

Waktu tinggal merupakan lama waktu air berada di dalam sebuah unit. Berdasarkan kriteria desain menurut EPA, waktu tinggal pada bak prasedimentasi adalah berkisar antara 45-90 menit.

Berdasarkan hasil perhitungan, total waktu tinggal pada unit kanal adalah 32.51 menit. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tinggal pada unit kanal belum memenuhi kriteria desain, sehingga dimungkinkan proses pengendapan grit dapat terganggu.

b. Kecepatan aliran horizontal

Kriteria desain untuk kecepatan aliran horizontal menurut EPA pada bak prasedimentasi adalah sebesar 0.25-0.4 m/s. Rata-rata kecepatan aliran pada unit kanal adalah sebesar 0.35 m/s, menunjukkan bahwa kecepatan aliran pada kanal telah memenuhi desain kriteria.

5.4.2. Unit Bak Koagulasi dan Flokulasi

Pada diagram *fishbone* unit bak koagulasi dan flokulasi Gambar 5.4., menunjukkan bahwa unit koagulasi dipengaruhi oleh volume bak, kadar koagulan, dan pengadukan. Dari hasil analisis, faktor volume bak dipengaruhi oleh waktu tinggal. Sementara untuk faktor pengadukan dipengaruhi oleh gradien kecepatan.

5.4.2.1. Koagulasi

a. Waktu tinggal

Waktu tinggal merupakan lama waktu air berada di dalam sebuah unit. Waktu tinggal pada bak koagulasi adalah sebesar 11.57 detik. Kriteria desai berdasarkan Droste, 1997 adalah sebesar 10-60 detik. Waktu tinggal yang sesuai menunjukkan

bahwa lama pencampuran koagulan di dalam bak sudah memenuhi kriteria.

b. Gradien kecepatan

Gradien kecepatan adalah nilai yang dibutuhkan pada pengaduk cepat agar koagulan dapat tercampur dengan optimal. Gradien kecepatan pada unit bak koagulasi adalah sebesar 1740.7/detik. Kriteria desain gradien kecepatan berdasarkan Reynold & Richards (1996) pada proses koagulasi adalah sebesar 700-1000/detik. Hal ini menunjukkan bahwa nilai gradien kecepatan terlalu besar, sehingga pengadukan belum berjalan optimal.

c. Kadar koagulan

Koagulan yang digunakan pada unit koagulasi IPAM X adalah tawas (Al_2SO_4) cair. Pada IPAM X dilakukan sampling secara rutin dimulai pukul 09.00 WIB untuk dilakukan analisis jar test di laboratorium dan menentukan kadar alum yang akan dibutuhkan pada unit koagulasi, sehingga kadar koagulan selalu disesuaikan dengan kebutuhan. Rata-rata penggunaan koagulan setiap bulannya adalah sebesar 18 ppm.. Perhitungan penentuan kadar koagulan pada IPAM X terdapat pada Lampiran B.

5.4.2.2. Flokulasi

a. Waktu tinggal

Waktu tinggal untuk bak flokulasi adalah 1.09 menit. Kriteria desain untuk waktu tinggal bak flokulasi adalah sebesar 10-60 menit. Hal tersebut menunjukkan bahwa waktu tinggal unit flokulasi tidak memenuhi kriteria desain, sehingga proses pembentukan flok tidak terjadi secara sempurna.

b. Gradien kecepatan

Kriteria desain untuk gradient kecepatan unit flokulasi adalah sebesar 20-100/detik. Untuk flokulator tiga kompartemen, menurut Reynold dan Richards (1996) diharapkan gradient kecepatan semakin menurun dengan gradient kecepatan kompartemen kedua sebesar 40% dari gradient kompartemen pertama, hingga kompartemen ketiga memiliki nilai gradient kecepatan terkecil. Gradien kecepatan yang melebihi kriteria desain dapat mengakibatkan pecahnya flok yang terbentuk dikarenakan aliran yang turbulen. Gradient kecepatan dari bak flokulasi pada kompartemen satu adalah sebesar 32/detik, pada

kompartemen kedua sebesar 25.67/detik, dan pada kompartemen ketiga sebesar 13.97/detik, hasil ini menunjukkan bahwa gradient kecepatan pada bak flokulasi lebih besar dari kriteria desain, sehingga dimungkinkan proses pembentukan flok terganggu dan menyebabkan pengendapan berlangsung tidak maksimal.

5.4.3. Unit Bak Sedimentasi

Pada diagram *fishbone* unit bak sedimentasi Gambar 5.4., menunjukkan bahwa unit bak sedimentasi dipengaruhi oleh volume bak, settler dan karakteristik aliran. Dari hasil analisis, faktor volume bak dipengaruhi oleh waktu tinggal. Sementara faktor karakteristik aliran dipengaruhi oleh bilangan Reynold dan bilangan Froude, dan faktor zona outlet dipengaruhi oleh kecepatan pada weir. Analisis pada unit bak sedimentasi dilakukan pada faktor Bilangan Reynold, Bilangan Froude dan kecepatan pada weir.

a. Waktu tinggal

Waktu tinggal dalam bak sedimentasi adalah sebesar 7.6 jam, sementara kriteria desain untuk waktu tinggal di dalam bak sedimentasi menurut Schulz (1984) adalah sebesar 1.5-4.5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa waktu tinggal pada bak sedimentasi tidak memenuhi kriteria desain.

b. Bilangan Reynold

Nilai dari bilangan Reynold akan menunjukkan kondisi aliran pada unit bak sedimentasi, apakah aliran bersifat laminar atau turbulen. Kondisi yang diharapkan pada unit bak sedimentasi adalah aliran laminar dengan nilai bilangan Reynold <2000. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai bilangan Reynold pada unit bak sedimentasi adalah sebesar 3487.49. Hal ini menunjukkan bahwa aliran pada bak sedimentasi bersifat turbulen, sehingga proses pengendapan tidak berjalan optimal.

c. Bilangan Froude

Nilai bilangan Froude menunjukkan apakah terjadi aliran pendek pada bak sedimentasi. Aliran yang terlalu besar berpengaruh pada proses pengendapan yang terjadi pada bak sedimentasi. Kriteria desain dari bilangan Froude adalah $>10^5$. Berdasarkan perhitungan, nilai Froude yang didapat adalah sebesar 1.5×10^{-6} .

d. Weir Loading

Weir yang digunakan pada bak sedimentasi adalah weir V-notch. V-notch digunakan sebagai pelimpah yang juga berfungsi untuk menahan aliran angin di permukaan air yang dapat mengganggu proses pada bak sedimentasi. Weir pada bak sedimentasi di IPAM X tidak berfungsi sehingga air langsung mengalir menuju outlet tanpa melewati v-notch.

Perhitungan masing-masing unit dapat dilihat pada Lampiran C.

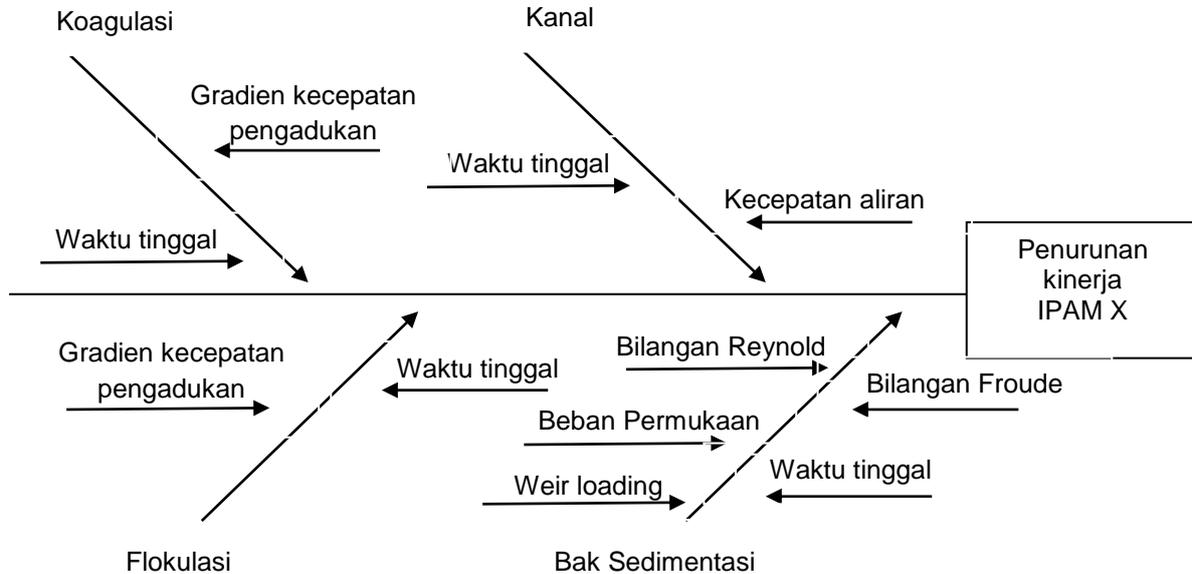
Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa terdapat beberapa spesifikasi teknis pada unit pengolahan yang belum memenuhi desain kriteria yaitu meliputi; unit kanal yang terdiri atas t_d dan kecepatan aliran horizontal; unit koagulasi yang terdiri atas faktor t_d dan gradient kecepatan; unit flokulasi yang terdiri atas faktor t_d dan gradient kecepatan; serta unit sedimentasi yang terdiri dari faktor t_d , beban permukaan, Nilai Froude, Nilai Reynold, dan juga nilai weir loading. Spesifikasi teknis pada masing-masing unit tersebut kemudian dipetakan ke dalam sirip pada diagram *fishbone* pada Gambar 5.4. sebagai faktor yang berpengaruh terhadap penyebab kegagalan kinerja unit pada IPAM X.

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa seluruh spesifikasi teknis pada unit filter telah memenuhi kriteria desain. Pada hasil perhitungan efisiensi removal, unit filter telah memenuhi kriteria desain penyisihan kekeruhan yaitu sebesar lebih dari 50%. Oleh karena itu, unit filter tidak dipetakan sebagai salah satu faktor penyebab kegagalan kinerja unit pada IPAM X.

5.5. Penggunaan Metode FMEA

Metode FMEA merupakan metode akurat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kegagalan produk atau sistem, frekuensi kegagalan, dan potensi penyebab kegagalan terkait (Sellapan, 2013). Dalam penelitian ini, metode FMEA digunakan untuk menganalisis kegagalan dari unit pengolahan yang memiliki resiko terbesar menyebabkan penurunan kualitas air produksi. Penentuan risiko terbesar didapatkan dari hasil angka RPN tertinggi, yang merupakan hasil perkalian dari nilai *Severity*, *occurance*, dan *Detection*.

DIAGRAM *FISHBONE* PENURUNAN KINERJA IPAM X



Gambar 5. 4 Diagram *Fishbone* IPAM X
Sumber: Hasil Penelitian

Penggunaan skala 10 memiliki tingkat sensitivitas tinggi dibandingkan skala 5. Namun, kelemahan penggunaan skala 10 adalah mempersulit penentuan interval dari masing-masing tingkatan.

Pada penelitian ini digunakan skala 5 untuk mempermudah penetapan interval dan nilai pada setiap tingkatan. Pada penggunaan skala 1-5 pada penelitian skala 1 menunjukkan nilai terendah yang mewakili kondisi kegagalan tidak berpengaruh terhadap proses produksi, dan skala 5 menunjukkan nilai tertinggi yang mewakili kondisi kegagalan yang berpengaruh paling besar terhadap proses produksi. Skala ini digunakan untuk seluruh pembobotan pada *Severity*, *occurrence*, dan *Detection*.

5.5.1. Penentuan Bobot *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*

Penentuan bobot berfungsi untuk memudahkan dalam pertimbangan tindakan prioritas perbaikan pada unit instalasi pengolahan. Pembobotan disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Semakin banyak resiko dari kegagalan, semakin besar pula bobot yang diberikan. Pembobotan dilakukan dengan menghitung nilai dari *severity*, *occurrence* dan *detection*. Hasil perhitungan dari masing-masing faktor akan menentukan nilai RPN dari penelitian ini.

5.5.2. Pembobotan *Severity*

Nilai *Severity* menunjukkan suatu tingkat keseriusan dari dampak yang ditimbulkan kegagalan yang terjadi. *Severity* menggambarkan dampak yang timbul apabila suatu kegagalan terjadi. Nilai *Severity* didapatkan dari hasil perbandingan kondisi ideal dengan kondisi eksisting. Warna kuning pada skala menunjukkan kondisi ideal dari unit pengolahan, sedangkan warna abu-abu menunjukkan kondisi eksisting pada unit pengolahan. Rentang dari skala pembobotan *Severity* didasarkan pada kriteria desain dari masing-masing unit pengolahan. skala *Severity*. Perhitungan matematis nilai *Severity* adalah sebagai berikut:

$$\text{Severity} = \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \dots \dots (\text{Rumus 5.1})$$

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal untuk unit kanal sebagai prasedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5. 8 Batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal pada unit kanal

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
TD 45-90 menit	TD 44-34 menit	TD 33-23 menit	TD 22-12 menit	TD <12 menit

Sumber: hasil penelitian

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

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko waktu tinggal di unit kanal didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa lama waktu tinggal pada unit kanal adalah sebesar 32.51 menit sehingga diletakkan pada skala 3 (sedang).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko v horizontal untuk unit kanal sebagai prasedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9Batasan nilai *Severity* resiko v horizontal pada unit kanal

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
0.25-0.4 m/s	0.45-0.6 m/s	0.6-0.75 m/s	0.8-0.95 m/s	>0.95 m/s

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-5}{5} \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko kecepatan horizontal di unit kanal didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa lama kecepatan horizontal pada unit kanal adalah sebesar 0.35 m/s sehingga diletakkan pada skala 5 (sangat baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal untuk unit bak koagulasi dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 10 Batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal pada unit bak koagulasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
TD 10-60 detik	TD 61-80 detik	TD 81-100 detik	TD 101-120 detik	TD >120 detik

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-5}{5} \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko waktu tinggal di unit bak koagulasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa waktu tinggal pada unit koagulasi adalah sebesar 11.57 detik sehingga diletakkan pada skala 5 (sangat baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko gradient kecepatan untuk unit bak koagulasi dapat dilihat pada Tabel 5.11

Tabel 5. 11 Batasan nilai *Severity* resiko gradient kecepatan pada unit bak koagulasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar

Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
kecepatan gradien 700-1000/s	kecepatan gradien 1010-1300/s	kecepatan gradien 1310-1500/s	kecepatan gradien 1510-1800/s	kecepatan gradien >1800/s

Sumber: hasil penelitian

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

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko gradien kecepatan di unit bak koagulasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa gradien kecepatan pada unit koagulasi adalah sebesar 1740.7/detik sehingga diletakkan pada skala 2 (buruk).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal untuk unit bak flokulasi dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal pada unit bak flokulasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk

TD 10-60 menit	TD 8.5- 9.9 menit	TD 7.0- 8.4 menit	TD 6.9- 5.5 menit	TD<5.5 menit
-------------------	-------------------------	-------------------------	-------------------------	-----------------

Sumber: hasil penelitian

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

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko waktu tinggal di unit bak flokulasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa waktu tinggal pada unit koagulasi adalah sebesar 1.09 menit sehingga diletakkan pada skala 1 (sangat buruk).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko gradient kecepatan untuk unit bak flokulasi dapat dilihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5. 13 Batasan nilai *Severity* resiko gradient kecepatan unit flokulasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
kecepatan gradien 10-100/detik	kecepatan gradien 110-130/detik	kecepatan gradien 140-150/detik	kecepatan gradien 160-180/detik	kecepatan gradien >180/detik

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-5}{5} \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko gradient kecepatan di unit bak flokulasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa gradient kecepatan pada kompartemen ketiga unit koagulasi adalah sebesar 13.97 detik sehingga diletakkan pada skala 5 (sangat baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal untuk unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5. 14 Batasan nilai *Severity* resiko waktu tinggal unit bak sedimentasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
TD 1.5-4.5 jam	TD 4.5-6.5 jam	TD 7-9 jam	TD 9-10 jam	TD >10 jam

Sumber: hasil penelitian

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

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko waktu tinggal di unit bak sedimentasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa waktu tinggal pada unit bak sedimentasi adalah sebesar 7.6 jam sehingga diletakkan pada skala 3(sedang).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko beban permukaan untuk unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5. 15Batasan nilai *Severity* resiko beban permukaan pada bak sedimentasi

Skala besaran risiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Beban permukaan 2-4 m/jam	Beban permukaan	Beban permukaan	Beban permukaan	Beban permukaan

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-5}{5} \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko beban permukaan di unit bak sedimentasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa beban permukaan pada unit bak sedimentasi adalah sebesar 3.9 m/jam sehingga diletakkan pada skala 5 (sangat baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko nilai froude untuk unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 16Batasan nilai *Severity* resiko nilai Froude pada bak sedimentasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Nfr >10 ⁻⁵	Nfr 10 ⁻⁽⁵⁾ -10 ⁻⁽⁶⁾	Nfr 10 ⁻⁽⁶⁾ -10 ⁻⁽⁷⁾	Nfr 10 ⁻⁽⁷⁾ -10 ⁻⁽⁸⁾	Nfr 10 ⁻⁽⁸⁾ -10 ⁻⁽⁹⁾

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-4}{5} \times 100\% \\
 &= 20\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko nilai Froude di unit bak sedimentasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa nilai froude pada unit bak sedimentasi adalah sebesar 1.5×10^{-6} . sehingga diletakkan pada skala 4 (baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko nilai reynold untuk unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Batasan nilai *Severity* resiko nilai Reynold pada bak sedimentasi

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar
Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Bilangan Reynold <2000	Bilangan Reynold 2000-4400	Bilangan Reynold 4500-7000	Bilangan Reynold 7100-10000	Bilangan Reynold >10000

Sumber: hasil penelitian

$$\begin{aligned}
 \text{Severity} &= \frac{\text{nilaiskalaideal} - \text{nilaiskalaeksisting}}{\text{nilaiskalaideal}} \times 100\% \\
 &= \frac{5-4}{5} \times 100\% \\
 &= 20\%
 \end{aligned}$$

Penentuan dari skala kondisi eksisting pada resiko nilai reynold di unit bak sedimentasi didasarkan pada kriteria desain. Pada kondisi eksisting, didapatkan bahwa nilai reynold pada unit bak sedimentasi adalah sebesar 3487.49 sehingga diletakkan pada skala 4 (baik).

Berdasarkan perhitungan secara teoritis dan pengamatan lapangan, batasan nilai *Severity* resiko weir loading untuk unit bak sedimentasi dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5. 18 Batasan nilai *Severity* weir loading

Skala besaran resiko				
0	1	2	3	4
Sangat kecil	Kecil	Sedang	Besar	Sangat besar

Skala kondisi eksisting				
5	4	3	2	1
Sangat baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat buruk
Weir loading 125-500 m ³ m/hari	Weir loading 510-600 m ³ m/hari	Weir loading 610-700 m ³ m/hari	Weir loading 710-800 m ³ m/hari	Weir loading >800 m ³ m/hari

Sumber: hasil penelitian

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

Pada Tabel 5.18 ditentukan nilai dari *Severity* weir loading dari unit-unit pengolahan. Weir loading pada bak pengendap adalah sebesar 745.2 m³/m².hari, sesuai dengan desain kriteria bangunan IPAM, sehingga terdapat pada skala 2 (buruk).

Untuk mengetahui nilai *Severity* dari masing-masing penyebab dampak potensial, dilakukan perhitungan dengan menggunakan Rumus 5.1. Hasil dari perhitungan *Severity* dapat dilihat pada Tabel 5.19. yang didasarkan pada kriteria pada Tabel 4.2.

Tabel 5. 19 Penentuan Nilai *Severity* Unit Instalasi

Unit	Resiko Potensial	Persentase Nilai Severity	Peringkat
Kanal	Waktu Tinggal	40%	2
	v horizontal	0%	1
Bak Koagulasi	waktu tinggal	0%	1
	gradien kecepatan	60%	3

Unit	Resiko Potensial	Persentase Nilai Severity	Peringkat
Bak Flokulasi	waktu tinggal	80%	4
	gradien kecepatan	0%	1
Bak Pengendap	waktu tinggal	40%	2
	Beban Permukaan	0%	1
	nilai froude	20%	1
	nilai reynold	20%	1
	weir loading	60%	3

Sumber: Hasil penelitian

5.3.3. Pembobotan Occurrence

Nilai *Occurrence* menunjukkan frekuensi kejadian dari dampak yang disebabkan oleh kegagalan. *Occurrence* menggambarkan seberapa sering suatu kegagalan terjadi, dan dijelaskan dalam satuan waktu. Nilai dari *Occurrence* didapatkan dari data serta hasil serta diskusi dengan pegawai PAM X dan hasil perhitungan. Batasan kriteria yang merupakan frekuensi tertinggi serta terendah terjadinya kegagalan dalam satu bulan proses produksi berlangsung. Batasan kriteria dari nilai *Occurrence* yang digunakan pada penelitian ini tercantum dalam Tabel 4.3.

Tabel 5. 20 Penilaian *Occurrence* pada Unit Kanal

Faktor risiko	Frekuensi	Peringkat
Waktu Tinggal	15 kejadian	4
v horizontal	5 kejadian	2

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.20 di atas, didapatkan bahwa waktu tinggal merupakan faktor resiko yang memiliki nilai *Occurrence* tertinggi dengan jumlah 15 kejadian, sedangkan untuk faktor kecepatan horizontal memiliki 5 kejadian, sehingga sesuai dengan batasan *Occurrence* yang telah ditentukan maka waktu tinggal memiliki nilai 4 yang berarti kegagalan tersebut sering terjadi dan untuk faktor kecepatan horizontal sebesar 2 yang berarti kegagalan kadang-kadang terjadi.

Tabel 5. 21 Penilaian *Occurrence* pada Unit Koagulasi

Faktor risiko	Frekuensi	Peringkat
waktu tinggal	5 kejadian	2
gradien kecepatan	>16 kejadian	5

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.21 di atas, didapatkan bahwa gradien kecepatan merupakan faktor resiko yang memiliki nilai *Occurrence* tertinggi dengan jumlah >16 kejadian, sedangkan untuk faktor waktu tinggal memiliki 5 kejadian serta faktor kadar koagulan dengan 1 kejadian, sehingga sesuai dengan batasan *Occurrence* yang telah ditentukan maka gradien kecepatan memiliki nilai 5 yang berarti kegagalan tersebut sering terjadi, untuk waktu tinggal sebesar 2 yang berarti kegagalan kadang-kadang terjadi, serta faktor kadar koagulan sebesar 1 yang berarti jarang terjadi .

Tabel 5. 22 Penilaian *Occurrence* pada Unit Flokulasi

Faktor risiko	Frekuensi	Peringkat
waktu tinggal	12 kejadian	3
gradien kecepatan	3 kejadian	1

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.22 di atas, didapatkan bahwa waktu tinggal merupakan faktor resiko yang memiliki nilai *Occurrence* tertinggi dengan jumlah 12 kejadian, sedangkan untuk faktor

gradient kecepatan memiliki 3 kejadian, sehingga sesuai dengan batasan *Occurrence* yang telah ditentukan maka waktu tinggal memiliki nilai 3 yang berarti kegagalan tersebut cukup sering terjadi dan untuk faktor kecepatan horizontal sebesar 1 yang berarti kegagalan jarang terjadi..

Tabel 5. 23 Penilaian *Occurrence* pada Unit Bak sedimentasi

Faktor risiko	Frekuensi	Peringkat
waktu tinggal	1 kejadian	1
Beban Permukaan	1 kejadian	1
nilai froude	>16 kejadian	5
nilai reynold	>16 kejadian	5
weir loading	>16 kejadian	5

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.23 di atas, didapatkan bahwa nilai Froude, nilai reynold, dan weir loading merupakan faktor resiko yang memiliki nilai *Occurrence* tertinggi dengan jumlah >16 kejadian, dan waktu tinggal serta beban permukaan memiliki 1 kejadian, sehingga sesuai dengan batasan *Occurrence* yang telah ditentukan maka nilai Froude, nilai reynold, dan weir loading memiliki nilai 5 yang berarti kegagalan tersebut sangat sering terjadi, dan untuk faktor waktu tinggal serta beban permukaan sebesar 1 yang berarti kegagalan jarang terjadi.

5.3.4. Pembobotan *Detection*

Nilai *Detection* menunjukkan tingkat kemungkinan lolos tidaknya penyebab kegagalan dari kontrol yang sudah dipasang (Pillay dan Wang, 2003). Nilai *Detection* menggambarkan tingkat pencegahan yang sudah dilakukan agar kegagalan tidak terjadi. Nilai *Detection* berbanding lurus dengan nilai *Occurrence*, semakin tinggi nilai *Occurrence* maka semakin tinggi pula nilai *Detection* yang diperoleh yang mana berarti semakin tinggi pula

kemungkinan suatu kegagalan lolos dari deteksi pengontrol. Dengan kata lain, metode pencegahan ataupun kontrol yang tidak efektif menyebabkan kegagalan tersebut terjadi secara berulang-ulang.

Batasan dari kriteria penilaian *Detection* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Nilai pada *Detection* didasarkan pada jumlah frekuensi terjadinya kegagalan. Nilai batasan frekuensi kejadian pada *Detection* didasarkan pada data, hasil diskusi dengan pegawai PDAM dan perhitungan. Tingginya nilai *Detection* menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan tinggi karena faktor penyebab kegagalan berhasil lolos dari kontrol atau tidak terdeteksi. Semakin rendah nilai *Detection* menunjukkan bahwa kemungkinan terjadinya kegagalan sangat rendah dan tidak ada kesempatan muncul kegagalan karena faktor penyebab kegagalan telah dideteksi sejak awal sehingga metode pencegahan yang diterapkan berjalan dengan baik.

Tabel 5. 24 Penilaian *Detection* pada Unit Kanal

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Waktu Tinggal	15 kejadian	4
v horizontal	5 kejadian	2

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.24 di atas, didapatkan bahwa waktu tinggal merupakan faktor resiko yang memiliki nilai *Detection* tertinggi dengan jumlah 15 kejadian, sedangkan untuk faktor kecepatan horizontal memiliki 5 kejadian. Sesuai dengan batasan *Detection* yang telah ditentukan maka waktu tinggal memiliki nilai 4 yang berarti kegagalan tersebut lolos dari kontrol yang telah diterapkan serta metode pencegahan tidak efektif. Pada faktor kecepatan horizontal memiliki nilai sebesar 2 yang berarti metode pencegahan terhitung efektif sehingga kemungkinan penyebab terjadi sangat rendah.

Tabel 5. 25 Penilaian *Detection* pada Unit Koagulasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
waktu tinggal	5 kejadian	2

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
gradien kecepatan	>16 kejadian	5

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.25 di atas, didapatkan bahwa gradien kecepatan merupakan faktor risiko yang memiliki nilai *Detection* tertinggi dengan jumlah >16 kejadian, faktor waktu tinggal memiliki 5 kejadian. Sesuai dengan batasan *Detection* yang telah ditentukan maka gradien kecepatan memiliki nilai 5 yang berarti kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi dan metode pencegahan tidak efektif sehingga penyebab selalu berulang. Pada faktor waktu tinggal memiliki nilai sebesar 2 yang berarti metode pencegahan terhitung efektif sehingga penyebab kegagalan jarang muncul.

Tabel 5. 26 Penilaian *Detection* pada Unit Flokulasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
waktu tinggal	12 kejadian	3
gradien kecepatan	3 kejadian	1

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.26 di atas, didapatkan bahwa waktu tinggal merupakan faktor risiko yang memiliki nilai *Detection* tertinggi dengan jumlah 12 kejadian, sedangkan gradient kecepatan memiliki 1 kejadian. Sesuai dengan batasan *Detection* yang telah ditentukan maka waktu tinggal memiliki nilai 3 yang berarti kemungkinan penyebab terjadi kegagalan berada pada tingkat sedang, serta metode pencegahan dinilai kurang efektif. Gradient kecepatan memiliki nilai sebesar 1 yang berarti Metode pencegahan sangat efektif. Tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul..

Tabel 5. 27 Penilaian *Detection* pada Unit Bak sedimentasi

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
waktu tinggal	1 kejadian	1

Faktor risiko	Frekuensi	Nilai
Beban Permukaan	1 kejadian	1
nilai froude	>16 kejadian	5
nilai reynold	>16 kejadian	5
weir loading	>16 kejadian	5

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 5.27 di atas, didapatkan bahwa nilai Froude, nilai reynold, dan weir loading merupakan faktor risiko yang memiliki nilai *Detection* tertinggi dengan jumlah >16 kejadian, sedangkan untuk faktor beban permukaan memiliki 1 kejadian dan waktu tinggal memiliki 1 kejadian. Sesuai dengan batasan *Detection* yang telah ditentukan, maka nilai Froude, nilai reynold, dan weir loading memiliki nilai 5 yang berarti kemungkinan penyebab terjadi sangat tinggi, metode pencegahan dinilai tidak efektif sehingga penyebab selalu berulang. Untuk faktor beban permukaan memiliki nilai 1 dan untuk faktor waktu tinggal sebesar 1 yang berarti metode pencegahan yang diterapkan dinilai sangat efektif, sehingga tidak ada kesempatan penyebab mungkin muncul..

5.3.5. Penentuan Risk Priority Number

Nilai *Risk Priority Number* (RPN) menunjukkan angka prioritas dari risiko yang terjadi. Hasil dari RPN didapatkan dari perhitungan nilai *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Nilai terbesar dari perhitungan RPN merupakan prioritas tertinggi untuk dilakukan penanganan dan usulan perbaikan dari unit pada proses terkait. Hasil dari perhitungan nilai RPN terdapat pada Tabel 5.28. berikut.

Tabel 5. 28Hasil Perhitungan Nilai RPN untuk Setiap Risiko

Unit	Faktor Risiko	S	O	D	RPN
Kanal	Waktu Tinggal	2	4	4	32

Unit	Faktor Risiko	S	O	D	RPN
	v horizontal	1	2	2	4
Bak Koagulasi	waktu tinggal	1	2	2	4
	gradien kecepatan	3	5	5	75
Bak Flokulasi	waktu tinggal	4	3	3	36
	gradien kecepatan	1	1	1	1
Bak Pengendap	waktu tinggal	2	1	1	2
	nilai froude	1	5	5	25
	Beban Permukaan	1	1	1	1
	nilai reynold	1	5	5	25
	weir loading	3	5	5	75

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai RPN tertinggi dimiliki oleh faktor gradient kecepatan bak koagulasi dan weir loading pada bak sedimentasi. Tujuan dari usulan perbaikan adalah untuk memberikan rekomendasi tindakan perbaikan terhadap unit terkait untuk meningkatkan performa dan kualitas dari IPAM X.

- Gradien kecepatan

Terdapat dua jenis pengadukan yang diterapkan pada proses pengolahan air minum, yaitu pengadukan cepat (*flashmix*) serta pengadukan lambat (*slowmix*). Pengadukan cepat dilakukan pada bak koagulasi, berfungsi untuk menghasilkan turbulensi air agar koagulan yang dilarutkan dapat terdispersi dalam air. Pengadukan lambat dilakukan pada bak flokulasi yang berfungsi untuk menghasilkan kontak antar partikel sehingga dapat membentuk gabungan partikel berukuran besar atau yang disebut dengan *flok* (Masduqi dan Assomadi, 2012).

Metode pengadukan pada pengadukan cepat dapat dilakukan melalui pengadukan menggunakan motor dan alat pengaduk (mekanis), pengadukan menggunakan energi gesek, potensial, maupun lompatan hidrolis aliran (hidrolis), ataupun pengadukan menggunakan udara yang dimasukkan ke dalam air (pneumatis).

Pada proses koagulasi, gradient kecepatan yang ideal untuk menghasilkan turbulensi pada bak koagulasi adalah sebesar 700-1000/detik (Reynolds dan Richards, 1996). Dari hasil penelitian dan perhitungan, didapatkan bahwa gradient kecepatan bak koagulasi pada IPAM X belum memenuhi kriteria desain, yaitu sebesar 1740.7/detik. Gradient kecepatan yang berada di luar kriteria desain menyebabkan pengadukan tidak berlangsung optimal sehingga koagulan tidak terdispersi dengan sempurna. Pada umumnya, dilakukan pengadukan dengan gradient kecepatan yang tinggi dengan maksud memaksimalkan efisiensi penggunaan koagulan. Gradient kecepatan yang terlalu besar menyebabkan penundaan pembentukan flok pada proses flokulasi (Bratby, 2006).

Pengadukan cepat pada kondisi eksisting di IPAM X dilakukan dengan pengadukan hidrolis yang dibantu dengan pengadukan pneumatis menggunakan *blower*. Untuk mengoptimalkan pengadukan pada bak koagulasi, dapat digunakan alat pengatur debit untuk mengontrol masuknya air ke dalam unit pengolahan. Debit yang tidak memenuhi kriteria desain bangunan pengolahan menyebabkan proses di dalam instalasi tidak berjalan optimal. Tenaga yang dihasilkan oleh blower juga berpengaruh terhadap faktor kecepatan pengadukan. Selain itu, kedalaman letak *diffuser* dan debit udara yang diinjeksikan juga berpengaruh terhadap kecepatan pengadukan yang dihasilkan. Pemilihan blower dengan power yang sesuai, penentuan kedalaman diffuser yang tepat, serta maintenance yang baik akan membantu optimalisasi proses koagulasi.

- Weir Loading

Pada kondisi ideal, untuk mencegah terjadinya *short circuit* dan ketidakstabilan pada bak sedimentasi, digunakan weir pada zona inlet dan outlet bak sedimentasi agar air dapat masuk dan keluar dari bak sedimentasi dengan aliran uniform. Penggunaan V-notch sebagai weir pada zona outlet juga dapat berfungsi untuk menahan aliran angin di permukaan bak sedimentasi yang dapat berpengaruh pada aliran air yang mengalir keluar. Weir loading merupakan perhitungan dari berapa banyak air yang terdorong masuk ke dalam weir. Jika aliran air yang melewati weir terlalu tinggi, maka flok akan terbawa keluar melalui outlet dan masuk ke dalam unit selanjutnya. Weir loading yang tinggi dapat

disebabkan oleh bergelombangnya permukaan air pada bak pengendap. (Reynold & Richards, 1996).

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa nilai weir loading dari unit bak sedimentasi sebesar $745.2 \text{ m}^3/\text{m}^2$, dimana kriteria desain untuk weir loading pada bak pengendap adalah sebesar $125\text{-}500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{hari}$. Pada kondisi eksisting di IPAM X, v-notch dalam kondisi rusak sehingga tidak berfungsi secara optimal. Perbaikan v-notch pada bak sedimentasi dapat mengoptimalkan proses pengendapan yang terjadi, sehingga efisiensi removal kekeruhan pada bak pengendap dapat meningkat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.2. Kesimpulan

1. Sumber kegagalan pada proses pengolahan di IPAM X terdapat pada proses pra-sedimentasi, koagulasi-flokulasi, dan sedimentasi. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan tersebut di antaranya t_d , kecepatan horizontal pada pra-sedimentasi; t_d dan gradient kecepatan pada koagulasi-flokulasi, serta t_d , beban permukaan, nilai Froude, nilai Reynold, dan weir loading pada bak sedimentasi.
2. Kegagalan potensial terbesar didapatkan dari nilai RPN tertinggi, yang meliputi gradient kecepatan pada bak koagulasi dan weir loading pada bak sedimentasi. Kedua faktor penyebab kegagalan tersebut memiliki nilai 75 pada RPN dan menjadi prioritas kegagalan utama.
3. Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan pada IPAM X meliputi; pemasangan alat pengatur debit pada intake serta inlet unit koagulasi, fluktuatifnya debit yang masuk ke dalam unit pengolahan mempengaruhi kinerja dari instalasi terkait, pemilihan blower bak koagulasi sesuai kebutuhan dan diimbangi dengan maintenance yang baik, serta perbaikan v-notch pada bak sedimentasi agar aliran air pada outlet bak sedimentasi seragam dan proses pengendapan tidak terganggu.

5.2. Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah penelitian terhadap efektivitas koagulan dan bahan kimia lainnya yang digunakan oleh IPAM X terkait removal polutan air baku di IPAM X.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Bratby, John. 2006. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*, 2nd Edition. IWA Publishing. Seattle, London.
- Budiyono dan Sumardiono, S. 2013. *Teknik Pengolahan Air*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Carlson, S. C. 2012. *Effective FMEAs (Fundamental of FMEA)*. New York: Wiley.
- Curkovic, Sime, Thomas Scannell, dan Bret Wagner. *Using FMEA for Supply Chain Risk Management*. United States: Western Michigan University.
- Fitrianti, Nadia. 2016. *Analisis Penurunan Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Surabaya: Teknik Lingkungan ITS.
- Gasperz, Vincent. 2002. *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Umum.
- Masduqi, Ali., dan Abdu Assomadi. 2012. *Operasi dan Proses Pengolahan Air*. ITS Press. Surabaya.
- Oka, B., dan Ayu Lintang. 2014. *Studi Kinerja Unit Instalasi Pengolahan Air Minum Ngagel III Surabaya*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492/MENKES/PER/IV/2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.
- Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 736/MENKES/PER/VI/2010 Tata Laksana Pengawasan Kualitas Air Minum.
- Puspitasari, N.B. dan Martanto, A. 2014. *Penggunaan FMEA dalam Mengidentifikasi Risiko Kegagalan Proses Produksi Sarung ATM (Alat Tenun Mesin) (Studi Kasus PT. Asaputex Jaya Tegal)*. Semarang: Program Studi Teknik Industri Universitas Diponegoro.
- Rahmawati, Sri, M. Isa Irawan, dan Nieke Karnaningroem. 2014. *Pola Sebaran Polutan di Kali Surabaya Menggunakan Jaringan Kohonen*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

- Reynolds, Tom D. dan Richards, Paul A.. 1996. Unit Operations and Processes for Environmental Engineering, 4th Edition. PWS Publishing Company. Boston.
- Robbins, W, dan Coulter. 2012. *Fishbone* Diagram. Vicoria: Deakin University Press.
- Scarvada. 2004. A Review of the Causal Mapping Practice and Research Literature. second World Conference on POM and 15th Annual POM Conference, Cancun, Mexico, April May 3, 2004.
- Sellapan, E. U. dan Astuti, D. A. 2012. Aplikasi Six Sigma pada Pengujian Kualitas Produk di UKM Keripik Apel Tinjauan dari Aspek Proses. *Jurnal Teknologi Pertanian* 12(1):3-5.
- Septine, Thesa Citri Priyono, Emma Yuliani, dan Rini Wahyu Sayekti. 2013. Studi Penentuan Status Mutu Air Sungai Surabaya untuk Keperluan Bahan Baku Air Minum. *Jurnal Teknik Pengairan*.
- Sharma, R. K., D. Kumar, dan P. Kumar. 2008. Predicting Uncertain Behavior of Industrial System Using FMEA Practical Case. *Applied Soft Computing* 8, 96-109.
- Welborn, C. 2007. Using FMEA to Assess Outsourcing Risk. *Quality Progress*, 40(8), 17-21.
- World Health Organization. How to Measure Chlorine Residual in Water. Switzerland.
- Yousefi, Zabihollah. 2015. Temporal and Spatial Variation of Hardness and Total Dissolved Solids Concentration in Drinking Water Resources of Ilam City Using Geographic Information System. University of Medical Science. Iran.

LAMPIRAN A

Pada lampiran ini terdapat gambar unit-unit pengolahan IPAM X yang diambil pada saat pelaksanaan penelitian lapangan.



Gambar: Intake
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit kanal
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit Baffled Channel
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit bak koagulasi
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit kanal III
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit bak filter
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Unit bak sedimentasi
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Area Ground Reservoir dan Chlorine contactor
Sumber: Hasil penelitian lapangan



Gambar: Pompa Distribusi
Sumber: Hasil penelitian lapangan

LAMPIRAN B

KANAL

- Q total = 4250 L/detik

Kanal I

- Panjang saluran : 240 m
- Lebar saluran : 8 m
- Kedalaman : 2 m
- Volume = $p \times l \times h$
 $= 240 \times 8 \times 2$
 $= 3840 \text{ m}^3$
- $td = \frac{\text{volume}}{Q}$
 $= \frac{3840}{4.25}$
 $= 904 \text{ detik}$
 $= 15.06 \text{ menit}$

Kanal II

- Panjang saluran : 240 m
- Lebar saluran : 6 m
- Kedalaman : 2 m
- Volume = $p \times l \times h$
 $= 240 \times 6 \times 2$
 $= 2880 \text{ m}^3$
- $td = \frac{\text{volume}}{Q}$
 $= \frac{2880}{2.75}$
 $= 1047 \text{ detik}$
 $= 17.45 \text{ menit}$
- $td \text{ total pada kanal} = 32.51 \text{ menit}$
- $v \text{ horizontal} = \frac{Q}{l \times h}$
 $= \frac{4.25}{6 \times 2}$
 $= 0.35 \text{ m/s}$

Faktor teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
<i>Time detention</i>	45-90 menit	32.51 menit	Tidak memenuhi
v horizontal	0.25-0.4 m/s	0.35 m/s	memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

BAK KOAGULASI

- $T = 28^{\circ}\text{C} \rightarrow v = 0.8394 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$
 $\mu = 0.8363 \times 10^{-3} \text{ N.detik/m}^2$
- Panjang bak : 1.5 m
- Lebar : 1.5 m
- Kedalaman : 3 m
- Jumlah unit (n) : 3 buah
- Q tiap bak $= \frac{\text{jumlah bak}}{1750}$
 $= \frac{3}{1750}$
 $= 580 \text{ L/detik}$
 $= 0.58 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Volume $= p \times l \times h$
 $= 1.5 \times 1.5 \times 1.5 \text{ m}$
 $= 6.75 \text{ m}^3$
- td $= \frac{\text{Volume}}{Q \text{ tiap bak}}$
 $= \frac{6.75}{1.5 \times 1.5 \times 3}$
 $= \frac{0.58}{11.57} \text{ detik}$
- G $= \sqrt{\frac{g \times h}{v \times td}}$
 $= \sqrt{\frac{9.81 \times 3}{0.8394 \times 10^{-6} \times 11.57}}$
 $= 1740.7/\text{detik}$
- P $= G^2 \times \mu \times \text{volume}$
 $= 1740.7^2 \times 0.8363 \times 10^{-3} \times 6.75$
 $= 7601.82 \text{ watt} = 7.602 \text{ kW}$
- Ga $= \frac{P}{3904 \times \log\left(\frac{h+10.4}{10.4}\right)}$
 $= \frac{7601.82}{3904 \times \log\left(\frac{3+10.4}{10.4}\right)}$
 $= 17.69 \text{ m}^3/\text{menit}$

Perhitungan Koagulan pada IPAM X

- PPM (didapatkan dari hasil lab) $= \frac{\frac{\text{kg}}{\text{cm}} \times \text{penurunan} \times 10^6}{\text{Kapasitas intake} \times 3600}$
- Kapasitas intake = Kapasitas produksi x 1.1

- Penurunan (dalam cm) $= \frac{PPm \times Kap.Intake \times 3600}{\frac{kg}{cm} \times 10^6}$
- Dalam Kg/cm $= \frac{PPm \times Kap.Intake \times 3600}{penurunan \times 10^6}$

Contoh perhitungan

- Dari hasil jartest laboratorium didapatkan tawas sebesar 35 ppm.

$$Kg/cm = \frac{PPm \times Kap.Intake \times 3600}{penurunan \times 10^6}$$

$$= \frac{35 \times 1925 \times 3600}{12 \times 10^6}$$

$$= \frac{242.55}{12}$$

$$Kg/cm = 20.2$$

Jadi untuk setiap 1 cm penurunan pada bak pembubuhan, dibutuhkan 20.2 kg tawas

Perhitungan Koagulan dalam kg/hari

- Berdasarkan data sekunder IPAM X didapatkan bahwa dosis optimum dari hasil jar test adalah sebesar 19 ppm. Dengan waktu produksi terhitung 12 jam (jartest 2 jam sekali) maka,
- Produksi air = 1750 l/dtk x 3600 dtk/jam x 12 jam/hari = 75.600.000 l/hari
- Kebutuhan alum = 19 mg/l x 75.600.000 l/hari = 1436.4 kg/hari

Faktor teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
Time detention	10-60 detik	11.57 detik	Memenuhi
Gradient kecepatan	700-1000/detik	1740.7/detik	Tidak memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

BAK FLOKULASI

- Panjang bak : 28 m
- Lebar : 0.91 m
- Kedalaman : 1.5 m

- Jumlah bak : 3 buah
- Jumlah kompartemen : 3 kompartemen
- Jarak antara ujung baffle dan dinding bak : 0.5 m
- Koefisien gesek (f') : 0.3 (faktor friksi baffle)
- ρ = 996.26 kg/m³
- μ = 0.8363.10⁻³ N.detik/m²
- Q = $\frac{Q}{\text{jumlah bak}}$
 $= \frac{1750}{3}$
 $= 580 \text{ L/detik}$
 $= 0.58 \text{ m}^3/\text{detik}$
- Volume = $p \times l \times h$
 $= 28 \times 0.91 \times 1.5$
 $= 38.22 \text{ m}^3$
- td = $\frac{\text{volume}}{Q \text{ per bak}}$
 $= \frac{38.22}{0.58}$
 $= 65.52 \text{ detik}$
 $= 1.09 \text{ menit}$
- N = $\left[\frac{2 \times \mu \times td}{\rho \times (1.44 + f')} \left[h \times L \times \frac{G}{Q} \right]^2 \right]^{1/3}$
 $= 13.97/\text{detik}$

Faktor teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
<i>Time detention</i>	10-60 menit	1.09 menit	Tidak memenuhi
Gradient kecepatan	20-100/detik	13.97/detik	Tidak memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

BAK SEDIMENTASI

- T = 28°C → $v = 0.8394 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$
 $\mu = 0.8363 \times 10^{-3} \text{ N.detik/m}^2$
- Q per bak = $\frac{Q}{\text{jumlah bak}}$
 $= \frac{1750}{6}$
 $= 290 \text{ L/detik}$

- = 0.29 m³/detik
 - = 1044 m³/jam
- Volume = $p \times l \times h$
 - = 95 x 28 x 3
 - = 7980 m³
- td = $\frac{volume}{Q \text{ bak}}$
 - = $\frac{7980}{0.29}$
 - = 27360 detik
 - = 7.6 jam
- As = 95 x 28
 - = 266 m²
- vh = $\frac{Q}{l \times h}$
 - (kecepatan horizontal) = $\frac{0.29}{28 \times 3}$
 - = 0.00357 m/detik
- vs = $\frac{h}{td}$
 - (kecepatan settling)
 - = $\frac{3}{27360}$
 - = 1.096 x 10⁻⁴
- Beban permukaan = $\frac{Q \text{ per unit}}{luas \text{ permukaan}}$
 - = $\frac{1044}{266}$
 - = 3.9 m/jam
- Zona outlet
- Jumlah weir = 5 buah
- Panjang weir = 15 m
- WLR = $\frac{Q}{luas \text{ permukaan}}$
 - (Weir Loading Rate) = $\frac{0.29}{28 \times 3}$
 - = 0.00345 m³/m².detik
 - = 12.42 m³/m².jam
 - = 745.2 m³/m².hari
- R = $\frac{b \times h}{\frac{b+2h}{28}}$
 - = $\frac{28 \times 6}{28+6}$
 - = 0.82 m

- NRe
$$= \frac{vh \times R}{\nu}$$

(Reynold)
$$= \frac{3.57 \times 10^{-3} \times 0.82}{0.8394 \times 10^{-6}}$$

$$= 3487.49$$
- Nfr
$$= \frac{vh^{(2)}}{g \times R}$$

(Froude)
$$= \frac{(3.57 \times 10^{-3})^2}{9.81 \times 0.82}$$

$$= 1.5 \times 10^{-6}$$

Faktor teknis	Kriteria Desain	Kondisi Eksisting	Keterangan
<i>Time detention</i>	1.5-4.5 jam	7.6 jam	Tidak memenuhi
Beban Permukaan	2-4 m/jam	3.9 m/jam	memenuhi
Nilai Reynold	<2000	3487.49	Tidak memenuhi
Nilai Froude	>10 ⁵	1.5 x 10 ⁻⁶	Tidak memenuhi
Weir loading	125-500 m ³ m/hari	745.2 m ³ /m ² .hari	Tidak memenuhi

Sumber: Hasil Perhitungan

BAK FILTER

- Jumlah filter : 18 unit
- Tipe : dual media
- Arah aliran : downflow
- Sistem *backwash* : otomatis
- Kecepatan filtrasi : 9.8 m/jam
- Waktu filtrasi : 12 jam/L
- Panjang bak : 8.32 meter
- Lebar bak : 3.57 meter
- Kedalaman : 4 meter
- *Freeboard backwash* : 0.65 meter (saat *backwash*)
- Q per bak
$$= \frac{Q}{\text{jumlah bak}}$$

$$= \frac{1.75}{18}$$

- Kecepatan filter

$$V_f = \frac{Qn}{As}$$

$$= \frac{0.097 \times 3600}{29.7024}$$

$$= 11.756 \text{ m/jam}$$
- Asurface

$$= p \times l$$

$$= 8.32 \times 3.57$$

$$= 29.7024 \text{ m}^2$$

Faktor teknis	Kriteria Desain*	Kondisi Eksisting	Keterangan
Kecepatan filtrasi	5-7.5 m/jam	11.756 m/jam	memenuhi
Luas permukaan	10-40 m ²	29.7024 m ²	memenuhi
Tebal media penyaring	0.45-2 m	0.825 m	memenuhi
Tebal media penunjang	0.15-0.65 m	0.225 m	memenuhi

*Kriteria desain Fair, Geyer, dan Okun

Sumber: Hasil Perhitungan

LAMPIRAN C

I. Prosedur Pengambilan Sampel

Metode: SNI 06-2412-1991 tentang pengambilan contoh air
Ruang lingkup: Pengambilan sampel air untuk uji kualitas secara fisika, kimia, dan mikrobiologi.

Syarat wadah pengambilan sampel:

- Terbuat dari bahan gelas atau plastik Poli Etilen (PE), PP, atau Teflon
- Dapat ditutup dengan kuat dan rapat
- Bersih dan bebas kontaminan
- Tidak mudah pecah

Prosedur:

4. Menentukan titik pengambilan sampel
 - a. Air baku
 - Ambil air baku pada satu atau beberapa titik yang mewakili sampel air baku, campurkan beberapa sampel tersebut menjadi satu hingga homogen.
 - b. Air produksi
Ambil sampel air melalui kran
5. Melakukan pengambilan sampel
 - a. Lakukan pengambilan sampel dengan bantuan ember yang diberi pemberat.
 - b. Bilas terlebih dahulu ember dengan air sampel sebanyak tiga kali
 - c. Ambil sampel sebanyak yang diperlukan, jika diambil lebih dari satu titik, volume setiap titik harus sama dan campur hingga homogen.)
 - d. Lakukan segera pengujian untuk parameter suhu, kekeruhan dan daya hantar listrik, Ph serta oksigen terlarut yang dapat berubah dengan cepat.
 - e. Catat waktu (tanggal dan jam) petugas pengambilan sampel.

II. Prosedur Pengujian Sisa Klor

Alat ukur: komparator, tablet dpd (*diethyl paraphenylene diamine*)

Prosedur:

1. Masukkan air blanko dengan kadar sisa klor 0 mg/l pada kolom blanko komparator
2. Hancurkan dpd, masukkan ke dalam kolom air sampel
3. Mengisi kolom air sampel dengan air yang akan dianalisis
4. Putar spektrum warna pada kolom air sampel hingga didapatkan warna yang sama dengan air pada kolom air blanko.
5. Hasil kadar sisa klor dapat diketahui melalui angka yang ditunjukkan pada spektrum warna komparator.

III. Prosedur Pengujian pH

Metode: pH meter, mengacu pada SNI 06-6989 11-2004

Prosedur:

1. Lakukan kalibrasi alat pH meter dengan larutan penyangga, sesuai instruksi kerja alat
6. Untuk sampel uji yang memiliki suhu tinggi, kondisikan hingga sampel mencapai suhu kamar
7. Keringkan elektroda pH meter dengan kertas tisu, kemudian bilas dengan air suling
8. Bilas elektroda dengan sampel uji
9. Celupkan elektroda ke dalam sampel uji sampai pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap
10. Catat angka hasil pembacaan tampilan pH meter pada FR-5.4.1.

IV. Prosedur Pengujian Zat Organik

Metode: Titrimetri, mengacu pada SNI 01-3554-2006

Alat ukur:

- Buret 25 ml (skala 0.05 ml)
- Neraca analitik
- Labu ukur 100 ml, 1000 ml
- Pipet volume 10 ml, 25 ml
- Gelas ukur 100 ml
- Thermometer

Bahan kimia dan penunjang:

- Larutan kalium permanganate (KMnO_4) 0.01 N dan 0.1 N

- Larutan asam oksalat $(\text{COOH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0.01 N dan 0.1 N
- Larutan asam sulfat (H_2SO_4) 8 N
- Aqua demin

Prosedur:

1. Ambil 100 ml sampel dengan menggunakan labu ukur 100 ml, masukkan masing-masing ke dalam labu erlenmeyer 250 ml.
2. Tambahkan larutan KMnO_4 ke dalam sampel, kocok hingga larutan bercampur dan berwarna merah muda
3. Ambil 5 ml larutan H_2SO_4 8 N menggunakan pipet ukur 10 ml, tambahkan ke dalam masing-masing larutan sampel.
4. Panaskan di atas pemanas listrik pada suhu $105^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$
5. Ambil larutan 10 ml larutan baku KMnO_4 0.01 N dengan menggunakan pipet ukur 10 ml, tambahkan ke dalam masing-masing larutan sampel.
6. Panaskan hingga mendidih selama 10 menit
7. Ambil 10 ml larutan baku asam oksalat 0.01 N dengan menggunakan pipet ukur 10 ml, tambahkan ke dalam masing-masing larutan sampel.
8. Titrasi larutan sampel dengan larutan KMnO_4 0.01 N hingga larutan berwarna merah muda
9. Catat volume sebelum dan sesudah titrasi KMnO_4 0.01 N
10. Hitung kadar nilai kalium permanganate dengan menggunakan rumus:

$$\text{Kadar KMnO}_4 \text{ (mg/l)} = \frac{((10+a)b - (10 \times c)) \times 31.6 \times 1000}{d}$$

Catatan:

- a : Volume KMnO_4 0.01 N pada titrasi (ml)
- b : Normalitas KMnO_4
- c : Normalitas asam oksalat
- d : Volume sampel yang digunakan (ml)

LAMPIRAN D

Berikut adalah hasil perhitungan efisiensi removal kekeruhan pada unit kanal, sedimentasi, dan filter selama Bulan Oktober 2017 hingga Oktober 2018

Oktober 2017																						
Kanal	9%	-53%	-188%	-33%	-41%	-14%	-30%	-136%	-2%	2%	-1%	-1%	12%	2%	-1%	-6%	12%	26%	8%	-139%	-18%	-40%
Sedimenta-si	46%	72%	78%	35%	61%	37%	48%	83%	46%	53%	46%	56%	63%	42%	41%	63%	68%	63%	75%	87%	77%	67%
Filter	77%	76%	76%	86%	80%	82%	80%	73%	74%	80%	76%	69%	50%	70%	73%	75%	72%	76%	62%	71%	83%	83%
November 2017																						
Kanal	26%	63%	3%	-23%	8%	23%	23%	45%	-5%	54%	51%	13%	11%	24%	403%	4%	25%	62%	21%	58%	25%	12%
Sedimenta-si	58%	43%	32%	30%	28%	43%	75%	67%	77%	58%	81%	89%	90%	96%	96%	97%	95%	89%	96%	91%	97%	87%
Filter	79%	87%	84%	83%	89%	72%	84%	76%	76%	83%	72%	75%	71%	82%	74%	73%	76%	74%	75%	72%	76%	86%
Desember 2017																						
Kanal		19%	13%	-32%	19%	23%	-51%	-9%	9%	22%	0%	21%	11%	2%	14%	8%	10%	4%	-4%			
Sedimenta-si		92%	94%	84%	93%	98%	96%	92%	99%	94%	97%	98%	98%	99%	98%	98%	94%	93%	91%			
Filter		78%	81%	81%	77%	77%	50%	78%	83%	75%	87%	65%	81%	81%	80%	80%	67%	80%	84%			
Januari 2018																						
Kanal	61%	45%	-54%	5%	6%	6%	13%	4%	44%	92%	35%	8%	4%	26%	-15%	42%	31%	32%	14%	-9%	-27%	-19%
Sedimenta-si	94%	94%	94%	96%	96%	94%	88%	92%	95%	91%	89%	84%	80%	92%	93%	91%	75%	92%	96%	91%	83%	84%
Filter	78%	79%	80%	72%	77%	82%	88%	82%	84%	76%	74%	77%	77%	65%	68%	74%	72%	77%	76%	16%	77%	79%
Februari 2018																						
Kanal	26%	23%	0%	-24%	-5%	24%	19%	34%	35%	28%	17%	34%	-18%	16%	19%	18%	14%	4%	11%			
Sedimenta-si	87%	92%	93%	91%	91%	95%	96%	95%	95%	94%	93%	94%	96%	96%	96%	94%	96%	96%	98%			
Filter	80%	85%	80%	82%	80%	82%	85%	90%	86%	77%	80%	83%	91%	91%	91%	89%	87%	90%	95%			
Maret 2018																						
Kanal	1%	-10%	46%	-7%	-15%	1%	-11%	-10%	41%	4%	36%	-1%	-13%	31%	-26%	-6%	31%	-6%	10%	-54%	-26%	
Sedimenta-si	94%	96%	96%	95%	97%	97%	97%	95%	95%	97%	96%	96%	97%	92%	91%	94%	90%	94%	88%	85%	90%	
Filter	94%	91%	84%	88%	86%	88%	91%	91%	87%	84%	93%	90%	84%	92%	88%	85%	85%	86%	86%	91%	82%	
April 2018																						
Kanal	4%	2%	4%	4%	-2%	-8%	-19%	-11%	-4%	11%	19%	-3%	22%	4%	5%	15%	29%	25%	-7%	-3%	-7%	

Sedimenta- si	93%	97%	96%	95%	94%	94%	92%	87%	89%	89%	90%	89%	91%	96%	95%	94%	86%	89%	94%	89%	80%	
Filter	91%	89%	88%	85%	87%	85%	89%	84%	87%	82%	82%	85%	77%	84%	82%	81%	87%	87%	86%	77%	80%	
Mei 2018																						
Kanal	-5%	-5%	38%	10%	20%	-7%	48%	7%	11%	12%	13%	17%	-15%	-8%	1%	24%	15%	-6%	15%	-15%		
Sedimenta- si	83%	85%	87%	86%	85%	86%	83%	86%	83%	77%	74%	84%	71%	84%	68%	57%	67%	80%	72%	78%		
Filter	82%	82%	86%	80%	77%	80%	83%	80%	76%	80%	80%	79%	87%	83%	75%	77%	76%	86%	88%	79%		
Juni 2018																						
Kanal	-3%	-8%	-6%	-9%	3%	-9%	11%	9%	5%	-6%	4%											
Sedimenta- si	82%	76%	74%	60%	76%	83%	65%	78%	79%	80%	86%											
Filter	85%	83%	81%	91%	77%	82%	93%	75%	77%	88%	87%											
Juli 2018																						
Kanal	-4%	-4%	6%	32%	6%	-54%	-7%	11%	76%	3%	20%	61%	8%	64%	23%	11%	-2%	90%	84%	-24%	-36%	-7%
Sedimenta- si	82%	83%	86%	77%	79%	70%	80%	75%	77%	67%	83%	49%	37%	71%	-4%	36%	45%	64%	69%	56%	59%	64%
Filter	76%	81%	84%	83%	89%	93%	78%	80%	83%	85%	77%	91%	90%	83%	93%	87%	87%	88%	87%	82%	86%	85%
Agustus 2018																						
Kanal	12%	-2%	-78%	30%	26%	10%	58%	5%	-2%	20%	2%	-3%	-49%	8%	-40%	-2%	-4%	0%	-3%	-27%	4%	
Sedimenta- si	35%	72%	65%	49%	55%	64%	20%	69%	51%	55%	59%	38%	40%	45%	50%	56%	36%	37%	56%	50%	40%	
Filter	84%	76%	87%	80%	85%	84%	81%	74%	84%	90%	86%	89%	92%	91%	88%	88%	85%	89%	83%	89%	87%	
September 2018																						
Kanal	45%	-6%	-9%	9%	25%	21%	-5%	-2%	-1%	-4%	-2%	-6%	-68%	15%	-22%	31%	-1%	11%	53%			
Sedimenta- si	72%	56%	60%	55%	47%	19%	59%	53%	13%	23%	60%	38%	77%	47%	44%	48%	31%	57%	68%			
Filter	81%	81%	81%	89%	83%	90%	83%	86%	89%	86%	84%	87%	82%	84%	89%	83%	88%	86%	83%			
Oktober 2018																						
Kanal	21%	28%	-4%	-10%	13%	3%	-16%	-1%	-3%	28%	-2%	-2%	4%	12%	-2%	37%	98%	29%	-4%	6%	-4%	30%
Sedimenta- si	55%	36%	47%	63%	29%	11%	-7%	55%	35%	21%	17%	23%	40%	13%	-21%	10%	54%	0%	15%	32%	-4%	-33%
Filter	82%	79%	84%	85%	84%	74%	83%	74%	77%	80%	82%	84%	77%	84%	83%	79%	79%	81%	81%	80%	86%	78%

BIOGRAFI PENULIS



Penulis merupakan putri kelahiran Probolinggo, 29 September 1995. Penulis menempuh pendidikan formal di TK, SD, SMP dan SMA Taruna dra. Zulaeha di Kecamatan Lece Kabupaten Probolinggo. Penulis melanjutkan studi di Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan pada tahun 2014. Pada masa sekolah penulis menempuh pendidikan non akademis di bidang musik dan menjadi kontributor dalam proyek menulis oleh Gradien Mediatama. Selama masa kuliah penulis aktif di dalam kegiatan kepanitiaan di HMTL ITS, BEM FTSP, dan di kepanitiaan BEM ITS YES Summit dalam divisi sponsorship selama tahun 2014-2017. Penulis aktif sebagai staff kominfo pada tahun 2015-2016 dan sebagai kepala divisi External Affair and Communication pada tahun 2016-2017 dalam Kelompok Pecinta dan Pemerhati Lingkungan (KPPL) HMTL ITS, serta aktif dalam komunitas World Merit Indonesia (WMI) Surabaya sebagai *founder*, bendahara pada periode 2016-2017, dan Head of Finance selama tahun 2017-2018. Pada tahun 2017 penulis melaksanakan Kerja Praktik di Pertamina RU V Balikpapan di Departemen HSE. Penulis dapat dihubungi via email istinuranisp@gmail.com.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”