

Identifikasi Kendala Proses Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum Menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Studi Kasus: PDAM Tirta Cahya Agung Kabupaten Tulungagung)

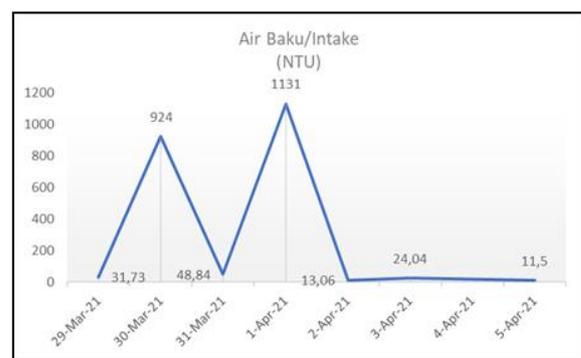
Rahmadika Bayu Yogaswara dan Atiek Moesriati
 Departemen Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: atiek@enviro.its.ac.id

Abstrak—PDAM Tirta Cahya Agung melayani kebutuhan air minum di Kabupaten Tulungagung dengan memanfaatkan air baku yang berasal dari hulu Sungai Song untuk diolah agar sesuai dengan parameter dalam Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010. Kendala proses produksi air minum seperti tingkat kekeruhan air baku yang berfluktuasi cukup tinggi pada musim penghujan, tidak berfungsinya unit pengolahan dan faktor risiko yang lain dapat mempengaruhi kualitas air produksi yang dihasilkan oleh PDAM Tirta Cahya Agung. Penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dalam mengidentifikasi penyebab kegagalan pada proses produksi hingga ditemukan akar dari permasalahan yang dinilai dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yaitu perkalian antara nilai *severity*, *occurrence* dan *detection*. Berdasarkan analisis menggunakan FMEA diperoleh nilai RPN yang tinggi pada aspek teknis dengan nilai dengan nilai 75 yaitu kondisi filter instalasi 100 L/detik, RPN dengan nilai 60 pada fluktuasi kekeruhan yang tinggi pada air baku dan nilai RPN 50 pada pelaksanaan chlorinasi. Sedangkan pada aspek non teknis nilai RPN tertinggi pada analisis kualitas air. Usulan perbaikan yang dapat dilakukan adalah pengawasan kualitas air baku, pelaksanaan klorinasi dan dilakukan analisis kualitas air sesuai Peraturan Meteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010.

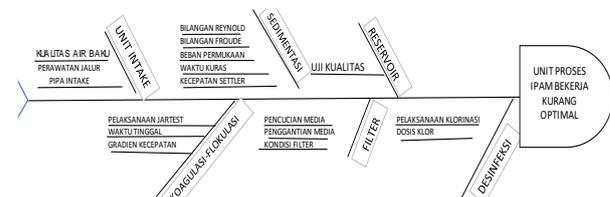
Kata Kunci—Air Minum, *Fishbone Diagram*, FMEA, PDAM Tirta Cahya Agung.

I. PENDAHULUAN

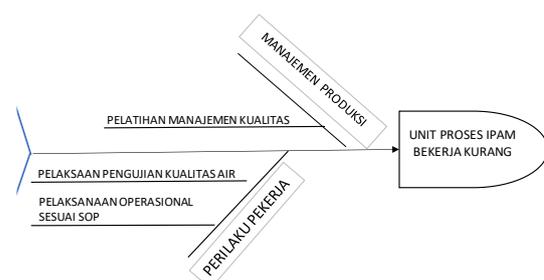
KEBUTUHAN air bersih merupakan kebutuhan mendasar yang terpenting bagi kehidupan manusia. Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Cahya Agung Tulungagung adalah salah satu perusahaan yang dimiliki oleh Pemerintah Daerah (PEMDA) yang berperan dalam mengolah dan menyediakan air bersih untuk melayani masyarakat Kabupaten Tulungagung, pelayanan PDAM Tirta Cahya Agung hasil produksi instalasi Jatiwekas terdiri dari Kecamatan Tulungagung, Kecamatan Boyolangu, Kecamatan Gondang, Kecamatan Karangrejo, Kecamatan Kauman, dan Kecamatan Sumbergempol. PDAM Tirta Cahya Agung mengolah air minum dengan kapasitas instalasi ± 190 liter/detik dengan air baku yang diambil dari hulu Sungai Song. Kualitas air sungai dipengaruhi oleh faktor alam dan faktor manusia. Perubahan kekeruhan yang tinggi di PDAM Tirta Cahya Agung pada musim penghujan dapat meningkatkan beban instalasi pengolahan. Permasalahan



Gambar 1. Fluktuasi Kekeruhan Air Baku.



Gambar 2. Fisbone Aspek Teknis.



Gambar 3. Fisbone Aspek Non Teknis.

yang terdapat pada PDAM adalah kebocoran pipa, pencemaran air baku, dan penanganan pelayanan [1].

PDAM Tirta Cahya Agung memiliki tiga instalasi pengolahan yaitu instalasi 40 L/detik, instalasi 50 L/detik dan instalasi 100 L/detik untuk mengolah air baku agar aman dikonsumsi masyarakat secara aspek kuantitas, kualitas dan kontinuitas. Dalam mengolah air baku seringkali ditemukan permasalahan dalam pengolahan yaitu masalah kekeruhan air baku yang tinggi, tidak berfungsinya unit filter, dan masih ditemukannya total coliform pada pipa ring utara yang dapat menyebabkan kualitas dan kuantitas air produksi menjadi berkurang. Peningkatan kualitas untuk menunjang pelayanan

Tabel 1.
Hasil Anslisis pH

| Tanggal | IPA 40 L/detik | | | IPA 50 L/detik | | IPA 100L/detik | | Reservoir |
|-----------|----------------|-------------|--------|----------------|--------|----------------|--------|-----------|
| | Intake | Sedimentasi | Filter | Sedimentasi | Filter | Sedimentasi | Filter | |
| 29-Mar-21 | 6,81 | 6,6 | 7 | 6,8 | 7 | 6,7 | 6,8 | 6,7 |
| 30-Mar-21 | 6,89 | 7 | 7,2 | 6,2 | 6,23 | 7,16 | 6,85 | 6,53 |
| 31-Mar-21 | 6,35 | 6,8 | 6,8 | 6,8 | 6,7 | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| 1-Apr-21 | 7,2 | 6,6 | 6,6 | 6,5 | 6,7 | 6,9 | 6,9 | 6,9 |
| 2-Apr-21 | 7,3 | 6,6 | 6,6 | 6,8 | 7 | 6,7 | 6,8 | 6,7 |
| 3-Apr-21 | 7,3 | 6,9 | 7 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,2 | 7,1 |
| 5-Apr-21 | 7,7 | 6,9 | 6,9 | 7,1 | 7,2 | 7,1 | 7,1 | 7 |

Tabel 2.
Analisis Kekeruhan Instalasi Pengolahan

| Tanggal | Intake | IPA 40 L/detik | | IPA 50 L/detik | | IPA 100L/detik | | Reservoir | Baku Mutu |
|---------|--------|----------------|--------|----------------|--------------|----------------|--------|-----------|-----------|
| | | Sedimentasi | Filter | Sedimnetasi | Filter (NTU) | Sedimentasi | Filter | | |
| 29-Mar | 31,73 | 1,92 | 0,52 | 4,6 | 2,04 | 5,13 | 4,4 | 1,83 | 5 |
| 30-Mar | 924,0 | 4,58 | 1,58 | 5,21 | 2,61 | 14,54 | 14,04 | 1,97 | 5 |
| 31-Mar | 48,84 | 2,82 | 1,71 | 8,26 | 1,86 | 3,83 | 3,71 | 1,3 | 5 |
| 1-Apr | 1131,0 | 12,02 | 1,67 | 11,03 | 4,85 | 13,43 | 10,61 | 0,83 | 5 |
| 2-Apr | 13,06 | 0,95 | 0,86 | 3,58 | 1,11 | 2,42 | 2,07 | 1,44 | 5 |
| 3-Apr | 24,04 | 3,92 | 1,55 | 4,38 | 1,12 | 2,41 | 2,32 | 1,84 | 5 |
| 5-Apr | 11,5 | 1,07 | 0,65 | 3,99 | 0,82 | 2,66 | 2,42 | 2,13 | 5 |

Tabel 3.
Analisis Total Coliform

| Tanggal | Intake | Reservoir (Pipa Jalur Utara) | Desinfeksi (Pipa Jalur Tengah) | | Desinfeksi (Pipa Jalur Selatan) | Baku Mutu |
|-----------|--------|------------------------------|--------------------------------|---|---------------------------------|-----------|
| | | | (MPN/100 mL) | | | |
| 29-Mar-21 | 2400+ | 240+ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30-Mar-21 | 2400+ | 240+ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 31-Mar-21 | 2400+ | 240+ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1-Apr-21 | 2400+ | 240+ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2-Apr-21 | 2400+ | 240+ | 0 | 0 | 0 | 0 |

dan jaminan mutu bagi pelanggan harus tetap dilakukan PDAM Tirta Cahya Agung untuk peningkatan target pelayanannya.

Berdasarkan pada permasalahan tersebut maka perlu dilakukan analisis risiko untuk mendeteksi apa saja penyebab permasalahan yang terjadi sehingga mempengaruhi hasil produksi pada instalasi pengolahan. Metode yang digunakan dalam menganalisis permasalahan ini adalah *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini digunakan sebagai acuan dalam prosedur dan sistematika dalam melakukan penelitian. Penelitian ini untuk mengidentifikasi proses produksi air minum sehingga ditemukan permasalahan yang menyebabkan risiko kegagalan terhadap kualitas air produksi PDAM.

A. Pengumpulan Data

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

- a. Data primer yaitu observasi dimensi instalasi pengolahan, wawancara dengan pihak internal PDAM dan analisis laboratorium mengenai kualitas air pada air baku hingga hasil produksi pada ketiga unit instalasi pengolahan.
- b. Data sekunder yaitu diagram alir pengolahan, Standar Operasional Prosedur dan dimensi unit pengolahan.

Parameter uji yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis kekeruhan, pH, TDS, dan zat organik mulai dari air baku hingga masing-masing unit. Analisis total coliform dan sisa klor pada air baku dan air hasil produksi yang mengalir pada ketiga pipa ring utara, selatan dan tengah. Analisis kualitas air disesuaikan dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, serta Peraturan Menteri Kesehatan No 736 Tahun 2010 hanya pada sisa klor.

Data dimensi unit dilakukan analisis dengan perhitungan dimensi unit yang diambil dari observasi di lapangan dan dilakukan perhitungan disesuaikan dengan kriteria desain yang terdapat pada SNI: 6774-2008 tentang Tata Cara Perencanaan Unit Paket Instalasi Pengolahan Air dan kriteria desain Masduqi dan Assomadi, 2012.

Analisis data kuisisioner/wawancara dilakukan dengan membandingkan kondisi eksisting dengan mengacu SOP atau instruksi kepala bagian produksi juga disesuaikan dengan Peraturan Meteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 26 Tahun 2014 tentang Prosedur Operasional Standar Pengelolaan Sistem Penyediaan Air Minum dan Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010 tentang Pengawasan Kualitas Air.

B. Analisis Fishbone Diagram

Analisa *fishbone* merupakan konsep analisis sebab-akibat yang digunakan untuk mendeskripsikan permasalahan dan penyebabnya dalam kerangka tulang ikan [2]. *Fishbone* diagram umum digunakan sebagai alat kontrol kualitas untuk analisis faktor potensial sebagai akibat dari peristiwa tertentu yang mengarah pada efek utama [3]. Duri ikan diagram

Tabel 4.
Hasil Analisis Sisa Klor

| Tanggal | Sisa Klor (ppm) | | | Baku Mutu (mg/L) |
|-----------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| | Pipa Jalur Utara | Pipa Jalur Tengah | Pipa Jalur Selatan | |
| 29-Mar-21 | 0 | 0,62 | 0,57 | 0,2-1 |
| 30-Mar-21 | 0 | 0,72 | 0,76 | 0,2-1 |
| 31-Mar-21 | 0 | 0,39 | 0,22 | 0,2-1 |
| 1-Apr-21 | 0 | 0,42 | 0,37 | 0,2-1 |
| 2-Apr-21 | 0 | 0,57 | 0,41 | 0,2-1 |

fishbone diisi dengan sebab-sebab yang disesuaikan dengan pendekatan permasalahan dan kepala ikan adalah efek dari sebab tersebut.

C. Analisis Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan dari efek dan kuantifikasi kekritisan efek yang potensial dari sebuah sistem, desain dan proses [4] yang kemudian dilakukan kontrol yang bisa dilakukan untuk menanggulangi kegagalan tersebut [5]. Kuantifikasi dilakukan dengan pemberian nilai pada *severity* (S), *occurrence* (O), dan *detection* (D) untuk mendapatkan nilai *Risk Priority Number* (RPN). Nilai SOD diperoleh dari hasil penelitian uji kualitas air, hasil wawancara dan diskusi dengan internal PDAM. Nilai RPN diperoleh dari perkalian nilai $S \times O \times D$ yang digunakan untuk menentukan perangkingan dari kegagalan yang terjadi di PDAM.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Parameter Uji

Pengujian kualitas air dilakukan pada 11 titik sampling yaitu pada outlet intake, bak sedimentasi (IPA 40 L/detik, IPA 50 L/detik, dan IPA 100 L/detik), bak filter (IPA 40 L/detik, IPA 50 L/detik, dan IPA 100 L/detik), reservoir, dan outlet desinfeksi. Pengambilan air pada 11 titik sampling tersebut dilakukan untuk mengetahui efektifitas pengolahan pada jalannya proses produksi IPA di PDAM Tirta Cahya Agung Kabupaten Tulungagung. Berikut merupakan hasil uji dari air baku dan pada masing masing unit pengolahan:

1) pH

Uji pH pada penelitian ini menggunakan pH meter. Dari hasil analisis pH dapat diketahui bahwa pH air produksi sudah memenuhi buku mutu peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu hasil air produksi dalam pada rentang 6,5 – 8,5 yang menandakan tidak ada permasalahan pada pH air selama periode penelitian (Tabel 1).

2) Kekeruhan

Uji kekeruhan dilakukan dengan turbidimeter. Hasil uji menunjukkan bahwa nilai kekeruhan tertinggi pada air baku adalah pada tanggal 30 Maret dan 1 April 2021 yang menyebabkan terhentinya proses produksi selama 40 menit. Fluktuasi air baku terdapat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1. kekeruhan tertinggi pada air baku didapat pada tanggal 30 Maret yaitu 924 NTU dan 1 April yaitu 1131 NTU. Sedangkan kekeruhan normal adalah < 50 NTU. Berikut merupakan hasil penelitian kekeruhan dalam periode 29 Maret- 5 April 2021 dalam Tabel 2

Berdasarkan Tabel 2 mengenai kinerja ketiga instalasi dalam pengurangi kekeruhan didapatkan bahwa pada

instalasi 40 L/detik lebih baik dalam mengurangi kekeruhan. Hal ini dikarenakan pada instalasi 40 L/detik menggunakan dosing alum secara otomatis yang telah terkalibrasi sehingga dosis alum optimal, sedangkan instalasi 50 L/detik dan 100 L/detik menggunakan dosing alum secara manual. Unit filter 100 L/detik tidak berfungsi sehingga tidak dapat mengurangi kekeruhan. Survei di lapangan menunjukkan ketidakmampuan ketiga instalasi pengolahan dalam mengurangi kekeruhan yang tinggi pada kekeruhan 924 NTU dan 1131 NTU, ditandai dengan kekeruhan yang masih tinggi pada unit sedimentasi, sehingga air baku dibuang dan pengolahan dihentikan.

3) TDS

Analisis TDS dilakukan menggunakan TDS meter. TDS adalah jumlah material yang terlarut di dalam air. Hasil analisis TDS air produksi adalah dalam rentang 44-49 mg/L yang mana dapat diketahui bahwa TDS air produksi sudah memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu TDS hasil air produksi < 500 mg/L.

4) Total Coliform

Total coliform adalah suatu kelompok bakteri yang digunakan sebagai indikator adanya polusi kotoran. Analisis total coliform dilakukan dengan MPN analisis. Keberadaan total coliform menunjukkan adanya mikroba yang bersifat enteropatopenik [6]. Hasil analisis total coliform dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil yang diperoleh dari Tabel 3 adalah air hasil produksi telah memenuhi baku mutu Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492 Tahun 2010 yaitu 0 pada pipa transmisi yang telah diinjeksikan gas klor, dan pada pipa ring utara yang belum diinjeksikan gas klor masih terdapat total coliform di dalam air.

5) Sisa Klor

Analisis sisa klor dilakukan untuk mengetahui kandungan hasil sisa proses desinfeksi dalam air yang berguna untuk menghilangkan bakteri-bakteri patogen [7]. Analisis sisa klor dilakukan menggunakan Kolorimeter dengan menggunakan serbuk reagen klorin. Berikut merupakan hasil analisis sisa klor pada Tabel 4.

Parameter sisa klor hanya dapat dilihat pada pipa yang telah terinjeksi gas klor. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010, baku mutu sisa klor pada titik pelanggan terjauh adalah minimal 0,2 dan maksimal 1 mg/L.

6) Zat Organik ($KMnO_4$)

Analisis nilai permanganat dilakukan menggunakan prinsip titrasi untuk mendapatkan nilai permanganat. Berdasarkan Permenkes Nomor 492 Tahun 2010 baku mutu parameter zat organik yang diijinkan adalah 10 mg/L. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada hasil air produksi kandungan zat organik tertinggi selama periode penelitian adalah 3,6 mg/L yang mana masih memenuhi baku mutu yang ditetapkan.

B. Analisis Diagram Fishbone

Fishbone analysis digunakan untuk mempermudah identifikasi untuk memperoleh nilai *severity*, *occurrence* dan *detection* sebagai dasar perhitungan nilai RPN untuk pengambilan kesimpulan sehingga upaya pencegahan

Tabel 5.
Penjabaran Skala Besar Risiko
Skala Besar Risiko yang Ditimbulkan

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|--|--|---|---|
| Sangat Kecil Risiko yang ditimbulkan tidak berpengaruh kepada proses selanjutnya dan hasil produksi | Kecil Risiko ditimbulkan berpengaruh kepada proses selanjutnya dan hasil produksi | Sedang Risiko ditimbulkan menyebabkan fungsi unit selanjutnya terganggu dan berpengaruh kepada hasil produksi | Besar Risiko yang ditimbulkan dapat menyebabkan hasil produksi yang akan melampaui standar baku mutu | Sangat Besar Risiko yang ditimbulkan dapat menyebabkan air produksi melampaui standar baku mutu |
| Skala Kondisi Lingkungan | | | | |
| 5 Sangat Baik Kondisi ideal yang diinginkan untuk dicapai, tidak menimbulkan pengaruh pada proses selanjutnya | 4 Baik Kondisi membuat timbulnya risiko berpengaruh ke proses selanjutnya, masih batasan standar baku mutu | 3 Sedang Kondisi membuat timbulnya risiko menyebabkan fungsi unit selanjutnya terganggu, masih standar baku mutu | 2 Buruk Kondisi dibawah batasan baku mutu sehingga menyebabkan hasil produksi yang akan melampaui standar baku mutu | 1 Sangat Buruk Kondisi telah jauh dibawah baku mutu sehingga menyebabkan hasil produksi melampaui standar baku mutu |

Tabel 6.
Nilai dan Peringkat Severity

| Rank | Deskripsi | Nilai Severity |
|------|---|----------------|
| 1 | Kegagalan bersifat minor sehingga pihak pelanggan (internal dan eksternal) tidak mendeteksi kegagalan tersebut | ≤ 20% |
| 2 | Kegagalan akan mengakibatkan sedikit gangguan pelanggan dan/atau sedikit penurunan bagian kinerja sistem | 20% |
| 3 | Kegagalan akan mengakibatkan ketidakpuasan dan gangguan pada pelanggan dan/atau penurunan kinerja bagian atau sistem | 40% |
| 4 | Kegagalan akan menghasilkan tingkat ketidakpuasan pelanggan yang tinggi dan menyebabkan tidak berfungsinya sistem | 60% |
| 5 | Kegagalan akan mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan yang tinggi dan menyebabkan operasi non-sistem atau ketidakpatuhan terhadap peraturan pemerintah | ≥ 80% |

kegagalan dapat dirumuskan. Dalam pembuatan *fishbone analysis* didasarkan pada kuisioner yang telah diisi oleh pekerja, hasil wawancara kepala seksi laboratorium, dan kepala seksi produksi serta survei kondisi eksisting unit produksi di PDAM Tirta Cahya Agung yang kemudian dijadikan sebagai sebuah permasalahan untuk dianalisis. Aspek yang diidentifikasi dalam *fishbone* analisis penelitian ini adalah:

1) Teknis

Mengenai kondisi kualitas air baku, teknologi pengolahan air, dan kondisi unit pengolahan air yang digunakan.

2) Non teknis:

Perilaku operator dalam mengoperasikan pengolahan air. Kebijakan manajemen produksi mengenai operasional IPA dan upaya meningkatkan kualitas pekerja. Analisis sebab-akibat menggunakan *fishbone diagram* dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan bahwa keseluruhan faktor-faktor aspek teknis yang dapat berpotensi mempengaruhi hasil produksi instalasi pengolahan kurang optimal. Pada unit intake adalah kualitas air baku dan perawatan jalur pipa intake. Pada unit koagulasi-flokulasi adalah pelaksanaan jartest, waktu tinggal dan gradien kecepatan. Pada unit sedimentas adalah bilangan reynold, bilangan froude, beban permukaan, waktu pengurasan, dan kecepatan settler. Pada unit filter adalah pencucian media filter, penggantian media dan kondisi filter. Pada unit reservoir adalah pengujian kualitas air. Dan pada unit desinfeksi adalah pelaksanaan klorinasi dan sisa klor.

Gambar 3 memperlihatkan bahwa faktor non teknis yang dapat menyebabkan hasil produksi kurang optimal adalah pada perilaku pekerja yaitu pelaksanaan pengujian kualitas

air dan pelaksanaan operasional sesuai SOP. *Fishbone diagram* pada manajemen produksi adalah pelatihan manajemen kualitas.

Pada keseluruhan faktor aspek teknis dan non teknis akan dilakukan kuantifikasi untuk analisis lebih lanjut menggunakan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) sehingga didapat nilai akhir berupa *Risk Priority Number* (RPN) yang kemudian dijadikan pertimbangan untuk menentukan masalah atau risiko bahaya yang terjadi dalam sistem produksi air minum. Pada analisis *severity, occurrence dan detection*, analisis difokuskan pada instalasi dengan debit 100 L/detik.

C. Analisis Penilaian FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Analisis FMEA dilakukan berdasarkan dari faktor-faktor yang telah dianalisis dengan *fishbone diagram* untuk mempermudah mengetahui penyebab potensi hasil produksi tidak optimal [8] pada PDAM. Prosedur penyusunan FMEA adalah *review* proses, membuat daftar efek potensial yang dinilai dengan nilai *severity, occurrence, detection* untuk menghitung nilai RPN, kemudian menindaklanjuti bahaya potensial berdasarkan nilai RPN [9]. Nilai *severity, occurrence dan detection* dalam FMEA diperoleh dari hasil temuan observasi di lapangan, wawancara dan diskusi dengan kepala seksi dan kepala bagian produksi di PDAM Tirta Cahya Agung.

1) Severity

Severity merupakan kuantifikasi tingkat keseriusan kondisi yang ditimbulkan jika terjadinya sebuah kegagalan [10] pembuatan tabel severity dapat disesuaikan dengan kondisi penilaian, pembobotan kuisioner, proses produksi dan jenis pengolahan air pada IPAM. Selanjutnya dibuatkan deskripsi

Tabel 7.
Peringkat Occurance

| Rank | Deskripsi |
|------|---|
| 1 | Probabilitas yang tidak mungkin terjadi pada waktu pengoperasian. Ketidakmungkinan didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan < 0,001 dari keseluruhan probabilitas kegagalan pada interval waktu pengoperasian. |
| 2 | Probabilitas kejadian jarang terjadi pada waktu pengoperasian (yaitu setiap dua kali dalam sebulan). Didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan > 0,001 tetapi < 0,01 dari probabilitas keseluruhan kegagalan selama interval waktu pengoperasian item. |
| 3 | Probabilitas kejadian sesekali terjadi pada interval waktu pengoperasian (yaitu sebulan sekali). Sesekali didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan > 0,01 tetapi < 0,10 dari keseluruhan probabilitas kegagalan selama interval waktu pengoperasian. |
| 4 | Probabilitas moderat terjadi pada interval waktu pengoperasian item (yaitu setiap seminggu dua kali). Probabilitas didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan > 0,10 tetapi < 0,20 dari probabilitas keseluruhan kegagalan selama interval waktu pengoperasian. |
| 5 | Probabilitas kejadian yang tinggi pada interval waktu pengoperasian item (yaitu seminggu sekali). Tinggi probabilitas didefinisikan sebagai probabilitas kegagalan > 0,20 dari keseluruhan probabilitas kegagalan selama interval waktu pengoperasian. |

Tabel 8.
Peringkat Detection [10]

| Rank | Deskripsi |
|------|--|
| 1 | Probabilitas yang sangat tinggi, bahwa kegagalan akan terdeteksi. Verifikasi dan/atau kontrol hampir pasti akan mendeteksi adanya kekurangan atau kegagalan. |
| 2 | Probabilitas tinggi, bahwa kegagalan akan terdeteksi. Verifikasi dan/atau kontrol memiliki peluang bagus untuk mendeteksi adanya kekurangan atau kegagalan. |
| 3 | Probabilitas sedang, bahwa kegagalan akan terdeteksi. Verifikasi dan/atau kontrol kemungkinan akan mendeteksi adanya kekurangan atau kegagalan |
| 4 | Probabilitas rendah bahwa kegagalan akan terdeteksi. Verifikasi dan/atau kontrol tidak kemungkinan untuk mendeteksi adanya kekurangan atau kegagalan. |
| 5 | Probabilitas rendah bahwa kegagalan akan terdeteksi. Verifikasi dan/atau kontrol tidak kemungkinan untuk mendeteksi adanya kekurangan atau kegagalan. |

tiap tingkatan skala untuk menjamin konsistensi dalam analisis risiko [8]. Penjabaran nilai skala 1-5 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 digunakan untuk menilai besaran risiko untuk masing-masing faktor yang kemudian dilakukan penilaian *severity* pada faktor kegagalan. Perhitungan range dengan rumusan perhitungan pada persamaan 1. Hasil range yang diperoleh dari perhitungan digunakan untuk mendapatkan dilai *severity* pada Tabel 6.

$$Severity = \frac{Nilai\ skala\ ideal - Nilai\ skala\ eksisting}{Nilai\ skala\ ideal} \times 100\% \quad (1)$$

2) *Occurance*

Occurance dapat didefinisikan sebagai frekuensi terjadinya kegagalan selama periode tertentu [7]. Penilaian occurrence didapatkan dari hasil kuisisioner dimana penentuan peluang muncul kegagalan berdasarkan skala 1-5. Nilai 5 artinya tingkat frekuensi dampak sangat tinggi atau jumlah kejadian sering terjadi dan nilai 1 artinya tingkat frekuensi dampak sangat rendah atau jumlah kejadian jarang terjadi [8]. Rangkaing *occurance* terdapat pada Tabel 7 [11].

3) *Detection*

Detection merupakan pengukuran terhadap kemampuan mengendalikan atau mengontrol kegagalan yang dapat terjadi. Nilai *detection* diasosiasikan dengan pengendalian saat ini. *Detection* adalah nilai kemampuan dalam mengendalikan kegagalan yang terjadi [7].

Penentuan nilai *detection* didasarkan pada hasil wawancara dan inspeksi alat kontrol yang dapat mengatasi penyebab kegagalan terjadi. Penilaian *detection* memiliki rentang skala 1 hingga skala 5. Skala 5 menjelaskan bahwa kemampuan alat kontrol dalam mendeteksi bentuk atau penyebab kegagalan sangat rendah (tidak terdeteksi) dan skala 1 menjelaskan bahwa alat kontrol dapat mendeteksi kegagalan dengan mudah dan akurat (pasti terdeteksi). Penilaian *detection* dapat dilihat pada Tabel 8 [11].

4) *Risk Priority Number (RPN)*

Penilaian kualifikasi yang telah dilakukan pada nilai *severity*, *occurance*, dan *detection* digunakan untuk mencari nilai RPN yang dihasilkan dengan mengalikan nilai *severity* (S), *occurance* (O), dan *detection* (D). Nilai tersebut digunakan untuk perangkaian menurut hasil nilai RPN terbesar hingga nilai RPN terkecil. Nilai dengan RPN terbesar berarti jenis kegagalan memiliki dampak yang serius dan signifikan sehingga dibutuhkan pengawasan dan penanganan yang tepat untuk memperbaiki kegagalan-kegagalan tersebut. Nilai dengan RPN terkecil berarti jenis kegagalan tidak terjadi, sehingga resiko bahaya adalah minimal sehingga penanganan kegagalan dapat diprioritaskan pada nilai RPN besar. Hasil perhitungan nilai RPN pada aspek teknis pada Tabel 9 dan non teknis pada Tabel 10.

Berdasarkan nilai RPN pada Tabel 9 diambil analisis risiko nilai RPN diatas 1 pada PDAM Tirta Cahya Agung pada aspek teknis yaitu adalah:

1. Kondisi filter.
2. Kualitas air baku.
3. Pelaksanaan klorinasi.
4. Pelaksanaan *jartest*.
5. Analisis kualitas air produksi dari reservoir.
6. Gradien kecepatan koagulasi
7. Waktu tinggal koagulasi
8. Waktu pengurasan sedimentasi
9. Penggantian media filter.
10. Dosis gas klor.
11. Inspeksi pipa transmisi air baku.

Berdasarkan nilai RPN pada Tabel 10 diambil analisis risiko nilai RPN diatas 1 pada PDAM Tirta Cahya Agung pada aspek non teknis yaitu adalah:

1. Analisis kualitas air produksi sesuai Peraturan Menteri Kesehatan No. 736 Tahun 2010.
2. Pelaksanaan Operasional sesuai SOP.
3. Pelatihan Tentang Pengelolaan Instalasi.

D. *Usulan Perbaikan*

Usulan perbaikan diprioritaskan pada nilai-nilai RPN tertinggi yang dapat menyebabkan kegagalan pada hasil produksi yang diidentifikasi dari akar permasalahan untuk dilakukan pemantauan dan perbaikan yang dilaksanakan oleh oleh orang yang berwenang di PDAM. Berikut merupakan usulan perbaikan dari aspek teknis dan non teknis adalah:

Tabel 9.
Nilai RPN Aspek Teknis

| Sumber | Jenis Kegagalan | S | O | D | RPN |
|----------------------------|---------------------------------|---|---|---|-----|
| Intake | Kualitas Air Baku | 4 | 5 | 3 | 60 |
| | Inspeksi Jalur Pipa Intake | 1 | 3 | 3 | 9 |
| Unit Koagulasi - Flokulasi | Pelaksanaan uji <i>jarrest</i> | 5 | 3 | 3 | 45 |
| | Waktu tinggal | 5 | 3 | 2 | 30 |
| | Gradien kecepatan | 2 | 3 | 3 | 18 |
| Unit Sedimentasi | Bilangan reynold | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Bilangan froude | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Kecepatan aliran <i>settler</i> | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Beban permukaan | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Unit Filter | Waktu pengurasan | 2 | 3 | 3 | 18 |
| | Pencucian media filter | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Penggantian media | 4 | 2 | 2 | 16 |
| Unit Reservoir | Kondisi Filter | 5 | 5 | 3 | 75 |
| | Analisa kualitas air produksi | 5 | 3 | 3 | 45 |
| Unit Desinfeksi | Pelaksanaan chlorinasi | 2 | 5 | 5 | 50 |
| | Dosis klor | 1 | 3 | 3 | 9 |

Tabel 10.
Nilai RPN Aspek Non Teknis

| Sumber | Jenis Kegagalan | S | O | D | RPN |
|--------------------|---|---|---|---|-----|
| Perilaku Pekerja | Analisa kualitas air | 4 | 5 | 5 | 100 |
| | Pelaksanaan Operasional sesuai SOP | 3 | 2 | 2 | 12 |
| Manajemen Operator | Pelatihan Tentang Pengelolaan Instalasi | 2 | 2 | 2 | 8 |

1) *Kondisi Filter*

Masalah yang terjadi di PDAM Tirta Cahya Agung adalah filter pada insalasi 100 L/detik yang tidak dapat difungsikan sehingga tidak dapat membantu mengurangi kekeruhan yang dihasilkan pada effluent sedimentasi. Penyebab dari tidak berfungsinya filter adalah tekanan air yang kurang untuk mencapai ketinggian *backcash* dikarenakan desain perencanaan yang tidak tepat.

Perbaikan dan mitigasi yang dapat dilakukan pada potensi kegagalan yaitu pemantauan hasil air dari instalasi 100 L/detik dengan dilakukan pengamatan visual dan pengambilan sampel kekeruhan oleh operator pada effluent dari bak sedimentasi, pengecekan kekeruhan dapat dilakukan oleh operator pada parameter kekeruhan dengan turbidimeter minimal sekali dalam satu kali shift, hal ini dilakukan pemantauan agar terhindar dari bahaya pencemaran air. Saran untuk kembali memfungsikan kembali unit filter dapat dilakukan memakai blower untuk menaikkan tekanan air atau dengan mengalirkan air pada *pressure sand filter* yang tersedia di PDAM.

2) *Kualitas Air Baku*

Kekeruhan air yang terlalu tinggi menyebabkan terganggunya proses pengolahan pada masing-masing instalasi pengolahan air minum. Hal ini dikarenakan beban pengolahan yang melebihi kapasitas, yang menyebabkan air baku tidak dapat diolah dan menghentikan proses pengolahan, sehingga kegagalan yang terjadi adalah risiko terganggunya *supply* air produksi ke pelanggan.

Perbaikan dan mitigasi yang dapat dilaksanakan untuk mencegah kegagalan pada proses produksi dengan cara melakukan sampling pengujian kualitas air pada air baku untuk parameter kekeruhan dan pH, serta dilakukan pemantauan pada alat pantau kekeruhan (turbidimeter) dan pH pada instalasi 40 L/detik. Saran rekomendasi untuk air baku yang melebihi 600 NTU direkomendasikan untuk dialirkan terlebih dahulu menuju bak prasedimentasi sebelum dilakukan pembubuhan zat kimia dalam bak koagulasi-flokulasi.

3) *Pelaksanaan Klorinasi*

Pelaksanaan klorinasi pada PDAM Tirta Cahya Agung dilaksanakan pada 2 dari 3 pipa distribusi, yaitu tidak ada klorinasi pada pipa ring utara yang melayani Kecamatan Kauman dan sebagian Kecamatan Karangrejo. Sehingga bahaya yang akan timbul pada pipa yang tidak dilakukan klorinasi adalah terdapatnya kandungan mikrobiologis yaitu total coliform pada air distribusi yang tidak sesuai dengan PerMenKes No. 492 Tahun 2010 yaitu kandungan total coliform dalam air harus 0 per 100 mL sampel.

Perbaikan yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan klorinasi atau desinfeksi pada air olahan setiap hari untuk mencegah kontaminasi bakteri. Tindakan pemantauan yang dapat dilakukan adalah pengecekan klor pada air produksi secara rutin setelah klorinasi dilaksanakan sesuai dengan ketentuan dalam Permenkes No. 736 Tahun 2010 yaitu satu bulan sekali.

4) *Analisis Kualitas Air Sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010*

Bahaya yang akan ditimbulkan akibat tidak dilakukannya pengujian kualitas air produksi adalah terdapatnya potensi kandungan pencemar baik dengan parameter fisik, parameter kimia maupun mikrobiologi di dalam air tidak dapat dideteksi. Analisis kualitas air dilakukan harus sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010 analisis kualitas air produksi harus dilakukan terhadap parameter fisik, kimia, mikrobiologi.

Analisis kualitas air harus dilakukan pada sumber air baku, masing-masing inlet dan outlet pengolahan, dan outlet reservoir distribusi dengan batas toleransi minimal sekali sebulan dengan parameter fisik, mikrobiologis, dan sisa klor serta enam bulan sekali untuk parameter kimia wajib dan kimia tambahan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui titik analisis pada unit instalasi mana yang menjadi akar masalah kualitas air yang melebihi baku mutu. Jika analisis dilakukan lebih dari satu bulan, maka tidak dapat mengetahui permasalahan indikasi pencemaran dengan cepat sehingga potensi risiko kegagalan tinggi.

IV. KESIMPULAN

Kendala sistem produksi air minum PDAM Tirta Cahya Agung secara eksisting dapat diketahui dengan pemberian kuantifikasi nilai severity, occurrence, dan detection didasarkan pada wawancara, hasil analisis kualitas air di laboratorium dan review perhitungan sesuai kriteria desain. Berdasarkan hasil penelitian terdapat kendala pada unit filter 100 L/detik, intake, unit koagulasi-flokulasi, dan pemantauan kualitas air hasil produksi.

Penentuan prioritas permasalahan terbesar dilakukan dengan perhitungan nilai RPN (Risk Priority Number), pembobotan kepentingan resiko pada aspek teknis adalah kondisi filter dengan RPN 75, kualitas air baku dengan RPN 60, pelaksanaan klorinasi dengan RPN 50, pelaksanaan jartest dengan RPN 45. Sedangkan pada aspek non teknis potensi kegagalan adalah analisis kualitas air dengan RPN 100.

Usulan perbaikan yang dapat dilakukan untuk mitigasi kendala tertinggi yang terdapat pada PDAM adalah dengan pemantauan kualitas air pada effluent unit sedimentasi instalasi 100 L/detik secara rutin dikarenakan filter tidak berfungsi, pelaksanaan klorinasi pada pipa ring utara, dan pelaksanaan analisis laboratorium secara rutin pada kualitas air baku serta kualitas air hasil produksi sesuai Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 736 Tahun 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Firmanasari and Latansa, "Jaminan pemenuhan kebutuhan air bersih oleh masyarakat melalui transparansi pengawasan di perusahaan daerah

- air minum (PDAM) kabupaten tulungagung," *J. Huk.*, 2016.
- [2] M. Heri Murnawan, "Perencanaan produktifitas kerja dari hasil evaluasi produktivitas dengan metode fishbone di perusahaan percetakan kemasan PT. X," *J. Tek. Ind. HEURISTIC*, vol. 11, no. 1, 2014.
- [3] M. Coccia, "The fishbone diagram to identify, systematize and analyze the sources of general purpose technologies," *J. Soc. Adm. Sciences*, vol. 4, no. 4, 2018.
- [4] R. Y. Hanif, H. S. Rukmi, and S. Susanty, "Perbaikan kualitas produk keraton luxury di PT. X dengan menggunakan metode failure mode and effect analysis (FMEA) dan fault tree analysis (FTA)," *J. Online Tek. Ind. Itenas*, vol. 3, no. 3, 2015.
- [5] N. Badariah, D. Sugiarto, and C. Anugerah, "Penerapan metode failure mode and effect analysis (FMEA) dan expert system (sistem pakar)," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, 2016.
- [6] R. S. Pakpahan, I. Picauly, and I. N. W. Mahayasa, "Cemaran mikroba escherichia coli dan total bakteri koliform pada air minum isi ulang," *Kesmas J. Kesehat. Masy. Nas. (National Public Heal. Journal)*, vol. 9, no. 4, pp. 300–307, 2015.
- [7] N. Fitrianti, *Analisis Penurunan Kualitas Air Produksi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) X dengan Metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.
- [8] E. A. Y. Utami, A. Moesriati, and N. Karnaningroem, "Risiko kegagalan pada kualitas produksi air minum isi ulang di kecamatan sukoliilo surabaya menggunakan failure mode and effect analysis (FMEA)," *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [9] N. B. Puspitasari and A. Martanto, "Penggunaan FMEA dalam mengidentifikasi resiko kegagalan proses produksi sarung ATM (alat tenun mesin) (studi kasus PT. Asaputex Jaya Tegal)," *J. Tek. Ind.*, vol. 9, no. 2, 2014.
- [10] A. Pillay and J. Wang, "Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 79, no. 1, pp. 69–85, 2003.
- [11] M. Villacourt, *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA): A Guide for Continuous Improvement for The Semiconductor Equipment Industry*. Austin: International SEMATECH, 1992.