

ANALISIS RESIKO KEBOCORAN PIPA DISTRIBUSI AIR PADA PERUMDA GIRI TIRTA GRESIK MENGGUNAKAN METODE FMEA DAN FTA

RISK ANALYSIS OF WATER DISTRIBUTION PIPELINE LEAKS AT PERUMDA GIRI TIRTA GRESIK USING FMEA AND FTA METHODS

Romzy Bachtiar¹, Yanuar Pandu Negoro², Purwanto³

Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Gresik Jl. Sumatra No. 101, GKB, Gresik, Jawa Timur, 6112^{1,2,3}

romzybachtiar1607@gmail.com¹

ABSTRACT

Leakage in water distribution pipelines is a common problem at PDAM Perumda Giri Tirta Gresik, causing water loss, service disruption, and increased operational costs. This study aims to identify the causes of leakage, assess risk levels, and determine the root causes of failure. The methods used are Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) to determine risk priority based on the Risk Priority Number (RPN), and Fault Tree Analysis (FTA) to systematically analyze root causes. The results show that the highest RPN value is found in leakage at house connections (water meters) with a score of 336, followed by pipe corrosion at 324, and pipe cracks due to excessive pressure at 252. The FTA analysis indicates that leakage is influenced by material, operational, environmental, and installation factors. Recommended improvements include improving material quality, controlling water pressure, performing regular maintenance, and enhancing installation procedures. This study is expected to improve the efficiency and reliability of the water distribution system.

Keywords: pipeline leakage, FMEA, FTA, risk analysis, PDAM

ABSTRAK

Kebocoran pipa distribusi air merupakan permasalahan yang sering terjadi di PDAM Perumda Giri Tirta Gresik dan berdampak pada kehilangan air, gangguan pelayanan, serta peningkatan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab kebocoran, menentukan tingkat risiko, dan menelusuri akar penyebab kegagalan. Metode yang digunakan adalah Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) untuk menentukan prioritas risiko berdasarkan nilai Risk Priority Number (RPN), serta Fault Tree Analysis (FTA) untuk menganalisis penyebab utama secara sistematis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kegagalan dengan nilai RPN tertinggi adalah kebocoran pada sambungan rumah (water meter) sebesar 336, diikuti oleh kebocoran akibat korosi pipa sebesar 324, dan retakan pipa akibat tekanan berlebih sebesar 252. Analisis FTA menunjukkan bahwa kebocoran dipengaruhi oleh faktor material, operasional, lingkungan, dan pemasangan. Upaya perbaikan yang disarankan meliputi peningkatan kualitas material, pengendalian tekanan air, perawatan berkala, serta perbaikan prosedur instalasi. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem distribusi air.

Kata kunci: kebocoran pipa, FMEA, FTA, risiko, PDAM

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu sumber daya yang memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia dan digunakan dalam berbagai bidang, seperti kebutuhan rumah tangga, kegiatan industri, serta sektor pertanian (Sholahuddin & Rodhi, 2024). Oleh karena itu, Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) memiliki tanggung jawab dalam menyediakan air bersih yang layak, aman, dan berkelanjutan. Keandalan sistem distribusi menjadi faktor utama dalam menjamin kontinuitas pelayanan, khususnya melalui jaringan pipa yang

menyalurkan air dari instalasi pengolahan ke pelanggan. Namun demikian, kebocoran pada jaringan pipa distribusi masih menjadi permasalahan yang sering terjadi (Raf & Utami, 2024), termasuk di Perumda Giri Tirta Gresik. Kebocoran ini disebabkan oleh berbagai faktor, seperti usia pipa yang telah melewati masa pakai, tekanan air yang tidak stabil, kualitas material yang kurang baik, kesalahan pemasangan, serta faktor eksternal seperti aktivitas galian dan pergeseran tanah. Dampak yang ditimbulkan tidak hanya berupa kehilangan air (non-revenue water), tetapi juga

meningkatkan biaya operasional, mengganggu distribusi, dan menurunkan efisiensi sistem secara keseluruhan (Imsawan & Sembiring, 2014). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan metode analisis risiko yang sistematis. Salah satu metode yang digunakan adalah *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*, yang mampu mengidentifikasi mode kegagalan serta menilai tingkat risiko berdasarkan parameter *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection* untuk menentukan prioritas perbaikan (Nabila et al., 2025). Namun, *FMEA* memiliki keterbatasan dalam mengidentifikasi masalah secara mendalam. Oleh karena itu, penelitian ini juga menggunakan metode *Fault Tree Analysis (FTA)* sebagai pendekatan tambahan untuk menelusuri akar penyebab kegagalan secara logistik dan terstruktur (Rizaldy et al., 2025). Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi berbagai penyebab kegagalan yang memicu terjadinya kebocoran pada jaringan pipa distribusi air di PDAM Perumda Giri Tirta Gresik, menganalisis tingkat risikonya menggunakan metode *FMEA*, serta menelusuri akar penyebab kegagalan dengan metode *FTA*. Melalui pendekatan ini, diharapkan penelitian dapat memberikan rekomendasi perbaikan dan upaya yang tepat guna meningkatkan efisiensi sistem.

METODE

Tinjauan Pustaka

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis risiko kebocoran pada sistem pipa distribusi air di PDAM Perumda Giri Tirta Gresik. Analisis dilakukan dengan menggabungkan metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* dan *Fault Tree Analysis (FTA)* agar dapat mengetahui tingkat risiko sekaligus penyebab utamanya. Penelitian dimulai dengan tahap identifikasi masalah melalui observasi langsung di lapangan serta peninjauan data

awal terkait kejadian kebocoran pipa. Selanjutnya, dilakukan studi literatur untuk memperkuat pemahaman mengenai sistem distribusi air, konsep manajemen risiko, serta penerapan metode *FMEA* dan *FTA* dalam penelitian ini. Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung dan wawancara dengan pihak teknis di bagian distribusi PDAM, sehingga dapat menggambarkan kondisi nyata di lapangan. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari dokumen perusahaan berupa laporan kebocoran pipa distribusi yang digunakan untuk melihat pola dan frekuensi kejadian. Analisis dilakukan menggunakan *FMEA* dengan mengidentifikasi *failure mode*, penyebab, dan dampaknya. Setiap kegagalan dinilai berdasarkan tiga parameter, yaitu *Severity (S)*, *Occurrence (O)*, dan *Detection (D)*, yang kemudian dihitung nilai *Risk Priority Number (RPN)* untuk menentukan prioritas Risiko (Rizky et al., 2026). Selanjutnya, metode *FTA* digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab kegagalan melalui penyusunan diagram pohon kesalahan dari kejadian utama hingga penyebab dasar (Produk et al., 2025).

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)* awalnya dirancang dalam industri kedirgantaraan pada tahun 1960. Pada dekade 1980-an, pendekatan ini mulai diterapkan oleh perusahaan Ford. Kemudian, pada tahun 1993, *FMEA* resmi ditetapkan sebagai standar oleh *American Society for Quality Control (ASQC)* bekerja sama dengan *Automotive Industry Action Group (AIAG)*. *FMEA* adalah metode analisis yang dilakukan secara sistematis, tersusun, dan komprehensif untuk mengurangi kemungkinan terjadinya kegagalan. Dalam penerapannya, *FMEA* berfokus pada identifikasi faktor-faktor yang dapat memicu kegagalan, yang ditentukan melalui analisis terhadap

sumber atau akar masalah (Hidayat et al., 2020). *FMEA* menggunakan tiga variabel utama dalam proses penilaiannya, yaitu *Severity*, *Occurrence*, dan *Detection*. Ketiga variabel tersebut menjadi faktor penting untuk menilai serta menentukan prioritas risiko kegagalan yang berpotensi muncul dalam suatu proses.

1. Severity

Severity (S) merupakan indikator yang menggambarkan tingkat keparahan

Tabel 1. Severity

Severity	Nilai	Kriteria
Tidak ada efek	1	Tidak ada efek
Sangat ringan	2	Pelanggan tidak terganggu, mempunyai efek yang sangat ringan terhadap produk atau performa sistem.
Ringan	3	Pelanggan sedikit terganggu. Mempunyai efek yang ringan terhadap produk atau performa sistem.
Minor	4	Pelanggan merasakan sedikit gangguan. Mempunyai efek yang minor terhadap produk atau performa sistem.
Sedang	5	Pelanggan merasa tidak puas. Mempunyai efek yang sedang terhadap produk atau performa sistem.
Signifikan	6	Pelanggan merasa tidak nyaman. Performa produk menurun tetapi masih bisa dioperasikan dan aman. Terdapat kegagalan parsial, tetapi masih dapat dioperasikan.
Mayor	7	Pelanggan merasa tidak puas. Performa produk sangat turun, tetapi masih bisa dioperasikan dan aman. Mengganggu kinerja sistem.
Ekstrem	8	Pelanggan merasa sangat tidak puas. Produk tidak bisa dioperasikan, tetapi masih aman. Sistem tidak dapat beroperasi.
Serius	9	Terdapat potensi bahaya. Mampu menghentikan produk tanpa kecelakaan-kegagalan yang bergantung pada waktu. Berpotensi melanggar peraturan pemerintah.
Berbahaya	10	Efek berbahaya. Kegagalan dapat terjadi secara mendadak dan berdampak pada safety. Melanggar peraturan pemerintah

Berdasarkan tabel skala *Severity* yang terdiri dari nilai 1 hingga 10, skor yang lebih rendah mencerminkan dampak yang ringan, sedangkan skor yang lebih tinggi menandakan dampak yang berat atau kritis.

akibat yang ditimbulkan dari suatu kegagalan dalam suatu proses (Parakoso, 2025). Tujuan dari penilaian ini adalah untuk mengukur seberapa serius dampak kegagalan tersebut terhadap keseluruhan sistem atau peralatan. Semakin besar atau kritis konsekuensi yang ditimbulkan, maka nilai *Severity* yang diberikan akan semakin tinggi. Di bawah ini disajikan tabel skala penilaian untuk *Severity*:

2. Occurrence

Occurrence merupakan indikator yang menunjukkan seberapa sering kerusakan atau kegagalan muncul dalam proses produksi (Kasus & Swabina, 2026). Di bawah ini disajikan penjabaran dari skala penilaian *Occurrence*:

Tabel 2. Occurrence

Occurrence	Nilai	Kriteria	Jumlah kegagalan per 1,000
Hampir tidak pernah	1	Kegagalan hampir tidak mungkin	<0.00058
Sangat kecil kemungkinan	2	Kegagalan hampir tidak pernah terjadi	0.0068
Sangat jarang	3	Kegagalan sangat jarang terjadi	0.0063
Jarang	4	Kegagalan jarang terjadi	0.46
Rendah	5	Kegagalan terjadi dengan frekuensi yang rendah	2.7
Sedang	6	Kegagalan terjadi dengan frekuensi sedang	12.4
Sedang-Tinggi	7	Kegagalan terjadi dengan frekuensi sedang-tinggi	46
Tinggi	8	Kegagalan sering terjadi	134
Sangat Tinggi	9	Kegagalan sangat sering terjadi	316
Hampir pasti	10	Kegagalan hampir pasti terjadi	>316

Berdasarkan tabel skala *Occurrence* yang memiliki rentang nilai dari 1 hingga 10, skor yang lebih rendah mencerminkan bahwa kegagalan sangat jarang terjadi, sementara skor yang lebih tinggi menunjukkan bahwa kegagalan terjadi dengan frekuensi tinggi atau sangat mungkin terjadi.

3. Detection

Detection (D) merupakan ukuran yang menunjukkan seberapa besar kemungkinan suatu kegagalan pada jaringan pipa distribusi air dapat terdeteksi sebelum berdampak pada kualitas pelayanan atau proses distribusi. Nilai *Detection* digunakan untuk menilai efektivitas sistem pemantauan, inspeksi, dan kontrol jaringan pipa dalam mengenali potensi kebocoran sebelum kebocoran tersebut menyebabkan gangguan signifikan seperti kehilangan air, penurunan tekanan, kontaminasi, atau terhentinya aliran ke pelanggan (Razzaqqi et al., 2025). Berikut ini merupakan pengelompokan kategori dalam skala *Detection*:

Tabel 3. Detection

<i>Detection</i>	Nilai	Kriteria
Hampir pasti	1	Terdapat metode yang teruji dalam tahap konsep.
Sangat tinggi	2	Terdapat analisis komputer yang teruji pada tahap desain awal.
Tinggi	3	Terdapat analisis komputer yang teruji pada tahap desain awal.
Sedang-Tinggi	4	Dilakukan pengujian pada prototype awal dari bagian sistem.
Sedang	5	Dilakukan pengujian pada komponen sistem pada tahap produksi.
Rendah	6	Dilakukan pengujian pada komponen sistem yang sejenis.
Ringan	7	Dilakukan pengujian pada prototype produk dalam kondisi komponen sistem sudah terpasang.
Sangat ringan	8	Dilakukan pengujian durabilitas pada produk dalam kondisi komponen sistem sudah terpasang.
Sangat sulit	9	Hanya ada teknik pengujian yang tidak teruji dan tidak <i>reliable</i> .
Sangat tidak mungkin	10	Belum ada teknik pengujian yang sesuai.

Berdasarkan Tabel skor *Detection* dengan nilai rendah menunjukkan bahwa kegagalan sangat mudah dikenali sebelum terjadi, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan bahwa kegagalan sulit bahkan tidak dapat teridentifikasi terlebih dahulu. Melalui skala *Detection* ini, efektivitas sistem pengendalian dan pengawasan terhadap potensi kegagalan dapat dianalisis.

4. Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number (RPN) adalah nilai yang diperoleh dari penggabungan tiga variabel penting dalam analisis *FMEA*, yaitu *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D), yang saling terkait dan digunakan untuk menentukan rekomendasi perbaikan guna menurunkan risiko kegagalan dalam proses produksi. Semakin besar nilai *RPN*, maka semakin tinggi pula tingkat prioritas untuk dilakukan tindakan perbaikan (Studi et al., n.d.). Nilai *RPN* dihitung melalui perkalian ketiga skor tersebut. Adapun rumus perhitungan *RPN* adalah sebagai berikut:

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

Dimana:

S = *Severity* (Tingkat Keparahan)

O = *Occurrence* (Frekuensi Kejadian)

D = *Detection* (Kemungkinan Terdeteksi)

Fault Tree Analysis (FTA)

Metode *fault tree analysis (FTA)* adalah cara untuk menganalisis suatu masalah dengan menelusuri penyebabnya secara bertahap dari kejadian utama hingga ke akar masalah. Prosesnya dimulai dari kejadian puncak (top event), seperti kebocoran pipa, lalu diuraikan menjadi berbagai kemungkinan penyebab dan faktor yang lebih spesifik. Dalam *FTA* digunakan logika *AND* (dan) dan *OR* (atau) untuk menunjukkan hubungan antar penyebab (Studi et al., 2023).

Metode ini membantu memahami penyebab masalah secara terstruktur sehingga memudahkan dalam menentukan solusi yang tepat. Dalam metode *fault tree analysis (FTA)*, terdapat beberapa simbol khusus yang digunakan untuk menyusun diagram. Setiap simbol memiliki arti tersendiri untuk menunjukkan jenis kejadian maupun hubungan antar penyebab. Simbol-simbol ini membantu menggambarkan alur terjadinya suatu masalah secara jelas dan terstruktur, sehingga memudahkan dalam memahami bagaimana suatu kegagalan bisa terjadi serta faktor-faktor apa saja yang mempengaruhinya (Krisnaningsih et al.,

2021).

Simbol	Arti	Simbol	Arti
	Basic Event: Dasar insani kesalahan yang tidak membutuhkan pengembangan yang lebih jauh		External Event: Event yang dikecualikan muncul
	Conditioning Event: Kondisi spesifik yang dapat ditempatkan ke berbagai gerbang logika		Gerbang AND: Kesalahan manual akibat semua input masalah yang terjadi
	Underdevelopment Event: Event yang tidak dapat dikembangkan lagi karena informasi tidak tersedia		Gerbang OR: Kesalahan muncul akibat salah satu input masalah yang terjadi

Gambar 1. Simbol dalam FTA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data

Penilaian nilai *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) dalam penelitian ini diperoleh melalui proses wawancara langsung dengan Kepala Bagian Distribusi, yaitu Bapak Suko Harjoko. Wawancara dilakukan untuk mendapatkan penilaian yang sesuai dengan kondisi nyata di lapangan, berdasarkan pengalaman dan pemahaman beliau terhadap kejadian kebocoran pipa yang terjadi. Hasil penilaian tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis risiko menggunakan metode *FMEA*.

No	Tanggal Kejadian	Bulan	Lokasi	Jenis Pipa	Diameter Pipa	Waktu Perbaikan
1	05/01/2025	Januari	Jl. Kh. Syafii	HDPE	300 mm	3 Jam
2	10/01/2025	Januari	Jl. Gubernur Suryo	Galvanis	160 mm	6 Jam
3	16/01/2025	Januari	Jl. Raya Sukomulyo	Gate Valve	300 mm	3 Jam
4	22/01/2025	Januari	Jl. Ponggarangan Suci	PVC	300 mm	6 Jam
5	24/01/2025	Januari	Jl. Purat Lor	PVC	200 mm	6 Jam
6	28/01/2025	Januari	Jl. Raya Blingsang-Menganti	Gate Valve	60 DN	2 Jam
7	31/01/2025	Januari	Jl. Raya Blingsang-Domas	PVC	250 mm	5 jam
8	03/02/2025	Februari	Jl. Raya Mayjend Sungkono	PVC	160 mm	6 Jam
9	10/02/2025	Februari	Jl. Krikilan	Gate Valve	40 DN	2 Jam
10	11/02/2025	Februari	Jl. Raya Blingsang	HDPE	200 mm	6 Jam
11	20/02/2025	Februari	Jl. Raya Blingsang-Menganti	PVC	200 mm	6 Jam
12	25/02/2025	Februari	Jl. Raya Kh. Syafii	PVC	300 mm	6 Jam
13	03/03/2025	Maret	Jl. Banjarsari-Cerme	Gate Valve	60 DN	2 Jam
14	06/03/2025	Maret	Jl. Raya Kh. Syafii	PVC	160 mm	6 Jam
15	12/03/2025	Maret	Jl. Raya Sukomulyo	PVC	160 mm	6 Jam
16	17/03/2025	Maret	Jl. Raya Manyar	HDPE	300 mm	5 Jam
17	21/03/2025	Maret	Jl. Raya Legundi	PVC	400 mm	5 jam
18	26/03/2025	Maret	Jl. Raya Kh. Syafii	HDPE	300 mm	6 Jam
19	08/04/2025	April	Jl. Raya Driyorejo	HDPE	200 mm	6 Jam
20	16/04/2025	April	Jl. Raya Kedamean-Menganti	PVC	400 mm	5 jam
21	24/04/2025	April	Jl. Raya Kalimantan No 158 GKB	Gate Valve	40 DN	2 Jam
22	07/05/2025	Mei	Jl. Raya Sumatra GKB	Galvanis	350 mm	6 Jam
23	20/05/2025	Mei	Jl. Blingsang-Menganti	Galvanis	200 mm	6 Jam
24	04/06/2025	Juni	Jl. Balongpanggang	HDPE	250 mm	6 Jam
25	12/06/2025	Juni	Jl. Raya Dandes-Manyar Rejo	HDPE	400 mm	6 Jam
26	18/06/2025	Juni	Jl. Domas-Menganti	PVC	200 mm	6 Jam
27	23/06/2025	Juni	Jl. Petiken-Driyorejo	PVC	250 mm	6 Jam
28	01/07/2025	Juli	Jl. Raya Driyorejo	PVC	300 mm	6 Jam
29	16/07/2025	Juli	Jl. Petiken	PVC	250 mm	5 jam
30	28/07/2025	Juli	Jl. Raya Sidojanguks	Galvanis	200 mm	6 Jam

Gambar 2. Data Kebocoran Pipa Distribusi Air (Sumber)Perumda Giri Tirta Gresik

Data yang dikumpulkan menunjukkan kejadian kebocoran pipa distribusi air selama Januari hingga Juli 2025 di berbagai lokasi. Informasi yang dicatat meliputi waktu kejadian, lokasi, jenis dan diameter pipa, serta lama perbaikan. Kebocoran terjadi pada beberapa jenis pipa seperti *HDPE*, *PVC*, dan galvanis dengan ukuran yang bervariasi. Waktu perbaikan umumnya berkisar antara 2 hingga 6 jam, tergantung kondisi kerusakan. Secara umum, data ini menggambarkan bahwa kebocoran terjadi di banyak titik dan dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lebih lanjut terkait penyebab dan tingkat risikonya.

Metode *Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)*

1. Penilaian *Severity*

Penilaian didasarkan pada seberapa besar pengaruh kegagalan tersebut, seperti gangguan distribusi air, luas area terdampak, lama waktu perbaikan, serta potensi kerugian yang ditimbulkan. Dibawah ini adalah tabel dari penilaian *severity*.

Table 4. Penilaian *Severity*

Tahapan Proses	Moda Potensi Kegagalan	Penyebab Potensial	Efek Kegagalan	S
Pengolahan air bersih di IPA	Air tidak memenuhi standar kualitas	kualitas air buruk menyebabkan korosi dini	kualitas air menurun	7
Distribusi Air dari Reservoir	Tekanan distribusi tidak stabil	Tekanan pompa berlebih	Kehilangan air (NRW) meningkat	6
Jalur Pipa Transmisi Utama	Kebocoran akibat korosi	Usia pipa melewati umur pakai/korosi	Kebocoran besar	9
Sambungan pipa	Sambungan bocor	Pemasangan tidak tepat	Kehilangan air terus menerus	7
Pipa distribusi ke zona pelayanan	Pipa retak karena tekanan berlebih	Tekanan hidrolik tinggi	Kebocoran sulit terdeteksi	7
Sambungan rumah SR/SL	Kebocoran pada water meter	Water meter tua dan konektor atau longgar	Kerusakan meter, suplai ke pelanggan terganggu	6

2. Penilaian Occurrence

Data ini digunakan untuk menilai seberapa sering kegagalan terjadi dalam periode tertentu, sehingga semakin sering kebocoran muncul, maka nilai *Occurrence* yang diberikan akan semakin tinggi. Dibawah ini adalah table dari penilaian *Occurrence*.

Table 5 Penilaian Occurrence

Tahapan Proses	Moda Potensi Kegagalan	Penyebab Potensial	Efek Kegagalan	O
Pengolahan air bersih di IPA	Air tidak memenuhi standar kualitas	kualitas air buruk menyebabkan korosi dini	kualitas air menurun	4
Distribusi Air dari Reservoir	Tekanan distribusi tidak stabil	Tekanan pompa berlebih	Kehilangan air (NRW) meningkat	5
Jalur Pipa Transmisi Utama	Kebocoran akibat korosi	Usia pipa melewati umur pakai/korosi	Kebocoran besar	6
Sambungan pipa	Sambungan bocor	Pemasangan tidak tepat	Kehilangan air terus menerus	7
Pipa distribusi ke zona pelayanan	Pipa retak karena tekanan berlebih	Tekanan hidrolik tinggi	Kebocoran sulit terdeteksi	6
Sambungan ke rumah SR/SL	Kebocoran pada water meter	Watermeter tua dan konektor atau longgar	Kerusakan meter, suplai ke pelanggan terganggu	8

3. Penilaian Detection

Penilaian dilakukan berdasarkan kemudahan dan kecepatan dalam mendeteksi kebocoran pipa, baik melalui laporan pelanggan, inspeksi rutin, maupun sistem pengawasan, di mana semakin sulit kegagalan terdeteksi, maka nilai *Detection* akan semakin tinggi. Dibawah ini adalah tabel dari penilaian *Detection*.

Table 5 Penilaian Detection

Tahapan Proses	Moda Potensi Kegagalan	Penyebab Potensial	Efek Kegagalan	(D)
Pengolahan air bersih di IPA	Air tidak memenuhi standar kualitas	kualitas air buruk menyebabkan korosi dini	kualitas air menurun	3
Distribusi Air dari Reservoir	Tekanan distribusi tidak stabil	Tekanan pompa berlebih	Kehilangan air (NRW) meningkat	5
Jalur Pipa Transmisi Utama	Kebocoran akibat korosi	Usia pipa melewati umur pakai/korosi	Kebocoran besar	6
Sambungan pipa	Sambungan bocor	Pemasangan tidak tepat	Kehilangan air terus menerus	5

Pipa distribusi ke zona pelayanan	Pipa retak karena tekanan berlebih	Tekanan hidrolik tinggi	Kebocoran sulit terdeteksi	6
Sambungan ke rumah SR/SL	Kebocoran pada water meter	Water meter tua dan konektor atau longgar	Kerusakan meter, suplai ke pelanggan terganggu	7

4. Penentuan nilai RPN

Setelah dilakukan penilaian terhadap tingkat keparahan (*Severity*), kemungkinan kejadian (*Occurrence*), dan kemampuan deteksi (*Detection*), tahap selanjutnya adalah menghitung nilai *Risk Priority Number (RPN)*. Nilai *RPN* diperoleh dengan mengalikan skor dari ketiga aspek tersebut untuk setiap mode kegagalan. Mode kegagalan yang memiliki nilai *RPN* tertinggi menjadi prioritas utama untuk dianalisis lebih lanjut dan diberikan usulan perbaikan agar risiko kegagalan dapat diminimalkan. Untuk contoh perhitungan *RPN* yaitu: $6 \times 8 \times 7 = 336$. Tabel dibawah ini adalah hasil perhitungan *RPN* dari masing-masing mode kegagalan.

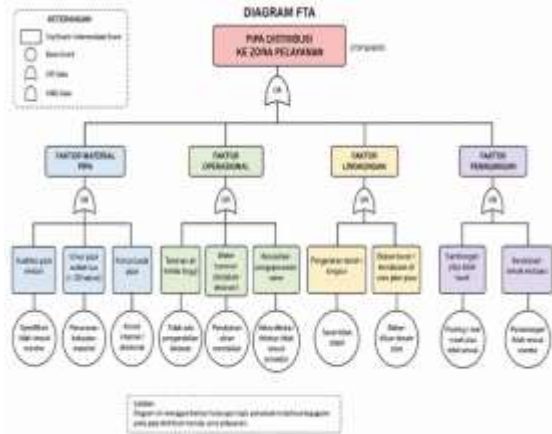
Table 6. Penentuan nilai RPN

Tahapan Proses	Moda Potensi Kegagalan	Penyebab Potensial	Efek Kegagalan	RPN
Sambungan ke rumah SR/SL	Kebocoran pada water meter	Water meter tua dan konektor aus atau longgar	Kerusakan meter, suplai ke pelanggan terganggu	336
Jalur pipa transmisi utama	Kebocoran akibat korosi	Usia pipa melewati umur pakai atau korosi	Kebocoran besar	324
Pipa distribusi ke zona pelayanan	Pipa retak karena tekanan berlebih	Tekanan hidrolik tinggi	Kebocoran sulit terdeteksi	252
Sambungan pipa	Sambungan bocor	Pemasangan tidak tepat	Kehilangan air terus menerus	245
Distribusi air dari reservoir	Tekanan distribusi tidak stabil	Tekanan pompa berlebih	Kehilangan air (NRW) meningkat	150
Pengolahan air bersih IPA	Air tidak memenuhi standar kualitas	Kualitas air buruk menyebabkan korosi dini	Kualitas air menurun	84

Metode Fault Tree Analysis (FTA)

Metode ini digunakan untuk mencari tahu penyebab suatu kegagalan dengan cara menelusuri hubungan sebab-akibat secara terstruktur dalam bentuk diagram seperti pohon. Prosesnya dimulai dari kejadian utama (top event), lalu diuraikan menjadi berbagai penyebab yang lebih rinci. Setiap penyebab tersebut dihubungkan menggunakan logika seperti AND dan OR untuk menunjukkan bagaimana suatu kejadian bisa terjadi akibat satu atau beberapa faktor yang saling berkaitan.

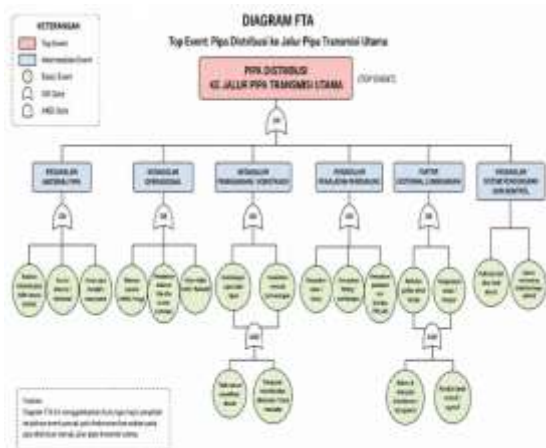
1. Pipa distribusi ke zona pelayanan



Gambar 3. Diagram FTA pada distribusi ke zona pelayanan

Gambar diatas menjelaskan penyebab terjadinya kegagalan pada pipa distribusi ke zona pelayanan sebagai kejadian utama. Penyebabnya dibagi menjadi beberapa faktor seperti material pipa, operasional, lingkungan, dan pemasangan, yang kemudian dirinci lagi menjadi penyebab yang lebih spesifik. Semua faktor dihubungkan dengan logika OR, artinya kegagalan bisa terjadi jika salah satu penyebab muncul, sehingga diagram ini membantu memahami sumber masalah dengan lebih jelas dan terstruktur.

2. Pipa distribusi ke jalur pipa transmisi utama



Gambar 4. Diagram FTA pada distribusi ke jalur pipa transmisi utama

Gambar diatas menjelaskan penyebab kegagalan pada pipa distribusi menuju jalur pipa transmisi utama sebagai kejadian utama (*top event*). Dalam diagram ini,

penyebab kegagalan dibagi menjadi beberapa kelompok, seperti kegagalan material pipa, operasional, pemasangan/konstruksi, perlindungan, kondisi lingkungan, serta sistem pengukuran dan kontrol. Masing-masing faktor kemudian diuraikan lagi menjadi penyebab yang lebih rinci, misalnya kualitas material yang tidak sesuai, kesalahan teknis saat pemasangan, hingga kondisi tanah dan lingkungan yang kurang mendukung. Hubungan antar penyebab menggunakan logika OR dan AND, yang menunjukkan bahwa kegagalan bisa terjadi akibat satu atau kombinasi beberapa faktor.

3. Kebocoran pada sambungan rumah SR/SL



Gambar 5. Diagram FTA pada kebocoran pada sambungan rumah (SR/SL)

Gambar diatas menjelaskan penyebab kebocoran pada sambungan rumah (SR/SL) sebagai kejadian utama (*top event*). Penyebab kebocoran dibagi ke dalam beberapa faktor, seperti kesalahan sistem sambungan, material, operasional, lingkungan, hingga faktor teknis lainnya, yang kemudian dijabarkan lagi menjadi penyebab yang lebih rinci. Hubungan antar faktor menggunakan logika OR dan AND, yang berarti kebocoran bisa terjadi karena satu atau kombinasi beberapa penyebab.

Berdasarkan diagram *Fault Tree Analysis (FTA)* di atas, kejadian kebocoran pipa distribusi air ditetapkan sebagai *top event* yang dipengaruhi oleh empat faktor utama, yaitu faktor material pipa, operasional, lingkungan, dan pemasangan. Pada faktor material, kebocoran dapat disebabkan oleh kualitas pipa yang rendah, umur pipa yang sudah tua (lebih dari 20 tahun), serta adanya korosi pada pipa.

Sementara itu, pada faktor operasional, kebocoran terjadi akibat kombinasi beberapa kondisi seperti tekanan air yang terlalu tinggi, terjadinya *water hammer* atau lonjakan tekanan secara mendadak, serta kesalahan dalam pengoperasian valve yang tidak sesuai prosedur. Dari sisi lingkungan, kebocoran dipicu oleh pergerakan tanah atau longsor serta adanya beban berat seperti kendaraan yang melintas di atas jalur pipa. Selain itu, faktor pemasangan juga berkontribusi, terutama akibat sambungan pipa yang tidak rapat dan kesalahan teknik instalasi yang tidak sesuai standar. Dengan demikian, analisis *FTA* ini menunjukkan bahwa kebocoran pipa tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan hasil dari berbagai kemungkinan penyebab yang saling berkaitan, sehingga diperlukan upaya pengendalian yang komprehensif pada setiap faktor tersebut.

Usulan Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, beberapa langkah perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko kebocoran pipa adalah sebagai berikut:

- 1. Perbaikan dari sisi material**
Melakukan penggantian pipa yang sudah tua atau mengalami kerusakan secara bertahap, serta menggunakan material pipa yang lebih kuat dan tahan terhadap tekanan maupun korosi.
- 2. Pengendalian sistem operasional**
Mengatur tekanan air agar tetap stabil sehingga tidak menyebabkan kerusakan pada pipa, serta melakukan pemantauan tekanan secara rutin untuk mencegah terjadinya lonjakan tekanan (*water hammer*).
- 3. Peningkatan kualitas pemasangan**
Memastikan proses pemasangan pipa dilakukan sesuai prosedur yang benar, serta meningkatkan pengawasan agar tidak terjadi kesalahan saat instalasi.
- 4. Perawatan dan pengecekan rutin**
Melakukan inspeksi berkala pada jaringan pipa, terutama di titik-titik yang rawan kebocoran, serta meningkatkan

sistem deteksi agar kebocoran bisa segera diketahui.

5. Peningkatan kemampuan tenaga kerja

Memberikan pelatihan kepada petugas agar lebih memahami teknik pemasangan dan perawatan pipa dengan baik.

6. Penanganan faktor lingkungan

Memberikan perlindungan pada pipa di area yang rawan gangguan, seperti daerah dengan beban berat atau pergerakan tanah, serta melakukan koordinasi dengan pihak lain agar tidak terjadi kerusakan akibat aktivitas luar.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Perumda Giri Tirta Gresik dengan menggunakan metode *FMEA* dan *FTA*, dapat diketahui bahwa kebocoran pipa distribusi air tidak terjadi karena satu penyebab saja, tetapi dipengaruhi oleh beberapa faktor yang saling berkaitan, yaitu material, operasional, lingkungan, dan pemasangan.

dari hasil analisis *FMEA*, diketahui bahwa risiko tertinggi terjadi pada kebocoran sambungan rumah (*water meter*) dengan nilai *RPN* sebesar 336. Selanjutnya disusul oleh kebocoran akibat korosi pipa dengan nilai *RPN* sebesar 324, serta retakan pipa akibat tekanan air yang terlalu tinggi dengan nilai *RPN* sebesar 252. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi sambungan dan kualitas pipa menjadi bagian yang paling perlu diperhatikan dalam sistem distribusi air. Sementara itu, dari hasil analisis *FTA* dapat dilihat bahwa kebocoran terjadi karena kombinasi beberapa penyebab, seperti usia pipa yang sudah tua, tekanan air yang tidak stabil, kesalahan saat pemasangan, serta pengaruh lingkungan seperti pergerakan tanah dan beban di atas pipa. Oleh karena itu, penanganan kebocoran perlu dilakukan secara menyeluruh agar sistem distribusi air dapat berjalan lebih baik dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Hidayat, M. T., Studi, P., Industri, T., Teknik, F., Penyok, C., & Bantat, C. (2020). *GANDENG DENGAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS (FMEA) DI PT . XXZ*. 01(04), 70–80.
- Imsawan, I., & Sembiring, E. (2014). *PEMILIHAN PROGRAM PENGENDALIAN KEHILANGAN AIR PENINGKATAN PENDAPATAN PDAM THE SELECTION OF WATER LOSS CONTROL PROGRAM AND THE EFFECT OF THE IMPLEMENTATION FOR PDAM ' S INCOME*. 20, 142–151.
- Kasus, S., & Swabina, P. T. (2026). *Penerapan Metode FMEA Dan FTA Dalam Analisis Penyebab Produk Cacat Air Minum Pada Kemasan 240ml*. 5(1), 92–102.
- Krisnaningsih, E., Gautama, P., & Syams, M. F. K. (2021). *MENGGUNAKAN METODE FTA DAN FMEA*. 4(1), 41–54.
- Nabila, B. N., Dahda, S. S., & Priyana, E. D. (2025). *Penerapan Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) dan Fault Tree Analysis (FTA) pada Mesin Produksi untuk Peningkatan Keandalan*. 4(4), 1613–1623.
- Parakoso, D. A. (2025). *Analisa Risk Priority Number (RPN) Terhadap Keandalan Komponen Mesin Thresher Menggunakan Metode FMEA di PT Indopalma Agro Persada*. 3(2).
- Produk, M., Serat, C., & Xyz, P. T. (2025). *Jurnal Teknologika*. 15(1), 782–791.
- Raf, B., & Utami, N. (2024). *Kinerja Pemerintah dalam Kualitas Pelayanan Perusahaan Daerah Air Minum di Bidang Distribusi dan Penanganan di Kabupaten Boalemo Provinsi Gorontalo*. 101–108.
- Razzaqqi, A., Khair, H., Syari, M. A., Jl, A., No, V., Binjai, K., & Utara, S. (2025). *Pendeteksian Kebocoran pada Jaringan Pipa Berbasis Internet of Things (IoT) dengan Notifikasi dan Lokalisasi Sumber Kebocoran of Things (IoT) dengan kemampuan notifikasi real-time dan lokasi sumber kebocoran sebagai melalui sensor , pengolahan data secara otomatis , serta notifikasi real-time kepada pengelola sehingga penanganan , bertujuan untuk mewujudkan konsep IoT . Hal ini digunakan sebagai bentuk*. 3(2).
- Rizaldy, W., Maulana, A., & Abdurrazzaq, A. Z. (2025). *ANALISIS PERBAIKAN SISTEM PADA PROSES PENANGANAN BARANG BERBAHAYA GUNA MEMINIMALISIR TERJADINYA INSIDEN BARANG BERBAHAYA DI PT . XYZ MENGGUNAKAN FAULT TREE ANALYSIS PADA TAHUN 2023*. 5(1).
- Rizky, M. R., Johnny, R., & Raharjo, H. (2026). *ANALISIS MANAJEMEN RISIKO PADA PROSES DISTRIBUSI SEMEN DENGAN METODE FMEA : STUDI KASUS PT XYZ*. 5(2), 331–345.
- Sholahuddin, M., & Rodhi, N. N. (2024). *Edukasi Masyarakat Peduli Air Bersih Dalam Upaya Peningkatan Pengetahuan Masyarakat Tentang Air Bersih Desa Pejok*. 8(3), 416–424.
- Studi, P., Industri, T., Teknik, F., Batam, U. P., Soeprapto, J. R., Kuning, M., & Pos, K. (n.d.). *Mitigasi Risiko pada Proses Produksi Tahu Menggunakan Pendekatan Metode Failure Mode and Effect Analysis dan Risk Priority Number*. 1, 40–45.
- Studi, P., Sipil, T., Sarjana, P., Teknik, F., Dan, S., & Indonesia, U. I. (2023). *Tugas akhir*.