



TESIS - TI 185401

**MODEL *FAULT TREE* DAN *DECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION LABORATORY* UNTUK MERUMUSKAN STRATEGI MITIGASI RISIKO PROSES PRODUKSI AIR PDAM BAUBAU**

**WIDYA SPALANZANI**

**02411750013001**

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

Dr. Ir. Mokhamad Suef, M.Sc(Eng)

Departemen Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019





TESIS - TI 185401

**MODEL *FAULT TREE* DAN *DECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION LABORATORY* UNTUK MERUMUSKAN STRATEGI MITIGASI RISIKO PROSES PRODUKSI AIR PDAM BAUBAU**

**WIDYA SPALANZANI**

**02411750013001**

Dosen Pembimbing

Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc

Dr. Ir. Mokhamad Suef, M.Sc(Eng)

Departemen Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019





**THESIS - TI 185401**

**FAULT TREE AND DECISION MAKING TRIAL AND  
EVALUATION LABORATORY MODEL FOR  
FORMULATING RISK MITIGATION STRATEGIES AT  
WATER PRODUCTION PROCESS OF PDAM  
BAUBAU**

**WIDYA SPALANZANI**

**02411750013001**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc**

**Dr. Ir. Mokhamad Suef, M.Sc(Eng)**

**Industrial Engineering Departement  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2019**



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**WIDYA SPALANZANI**

**NRP: 02411750013001**

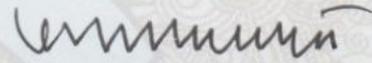
Tanggal Ujian: 25 Juli 2019

Periode Wisuda: September 2019

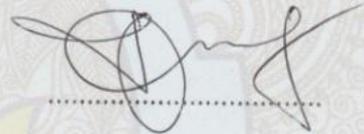
Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc  
NIP: 195903181987011001



2. Dr. Ir. Mokhamad Suef, M.Sc(Eng)  
NIP: 196506301990031002

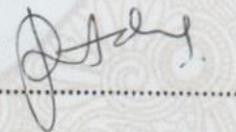


**Penguji:**

1. Nani Kurniati, ST., MT., Ph.D  
NIP: 197504081998022001



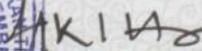
2. Putu Dana Karningsih, ST., M.Eng.Sc., Ph.D  
NIP: 197405081999032001



Kepala Departemen Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri

**Nurhadi Siswanto, ST., M.S.I.E., Ph.D**

NIP: 197005231996011001



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Widya Spalanzani  
NRP : 02411750013001  
Program Studi : Magister Teknik Industri – ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul :

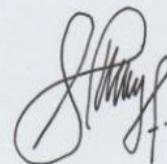
**“MODEL FAULT TREE DAN DECISION MAKING TRIAL AND  
EVALUATION LABORATORY UNTUK MERUMUSKAN STRATEGI  
MITIGASI RISIKO PROSES PRODUKSI AIR PDAM BAUBAU”**

Adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2019

Yang membuat pernyataan



Widya Spalanzani

NRP. 02411750013001

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**MODEL FAULT TREE DAN DECISION MAKING TRIAL AND  
EVALUATION LABORATORY UNTUK MERUMUSKAN STRATEGI  
MITIGASI RISIKO PROSES PRODUKSI AIR PDAM BAUBAU**

Nama Mahasiswa : Widya Spalanzani  
NRP : 02411750013001  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc  
Dosen Ko-Pembimbing : Dr. Ir. Mokh. Suef., M.Sc., (Eng.)

**ABSTRAK**

Kegagalan mengidentifikasi kualitas air merupakan salah satu penyebab utama timbulnya risiko operasional instalasi pengolahan air minum (IPA). Risiko operasional adalah risiko-risiko yang berhubungan dengan operasional organisasi perusahaan yang tidak diharapkan dan menyebabkan kerugian finansial bagi perusahaan. Salah satu perusahaan yang gagal dalam mengidentifikasi kualitas air yaitu PDAM kota Baubau, perusahaan daerah air minum yang dalam proses produksinya masih banyak mengandalkan pengetahuan, tenaga operator produksi yang serba terbatas, dan peralatan IPA seadanya. Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelesaikan *problem* yang ada di IPA dengan membuat strategi mitigasi risiko. Mitigasi risiko merupakan suatu cara untuk mengelola risiko untuk mengurangi kemungkinan terjadinya risiko. *Fault Tree Analysis* (FTA) bersama dengan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) digunakan dalam mengidentifikasi risiko kausalitas dari atas kebawah dan dari kiri kekanan. Penilaian risiko akan menggunakan parameter *likelihood* dan *consequence* yang terdiri dari 5 risiko operasional yakni kualitas sumber air memburuk, kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar. Masing-masing kelima risiko operasional tersebut dicari penyebabnya dari atas kebawah atau secara vertikal dan akan ada peta risiko yang ditentukan menggunakan FTA, serta akan ada 5 kelompok tingkat risiko yang memiliki hubungan risiko dari kiri kekanan secara horizontal dengan DEMATEL. Berdasarkan penilaian risiko, strategi mitigasi risiko dibentuk mengingat kerugian yang dapat membahayakan PDAM. Hasil identifikasi menghasilkan 2 risiko operasional termasuk dalam *high risk* dan 3 lainnya adalah *medium risk* dan mempunyai potensi kerugian besar yang kemudian risiko-risiko tersebut memiliki hubungan antar risikonya. Adapun strategi mitigasi risiko yang diusulkan salah satunya dari segi sumber daya manusia (SDM) adalah kinerja SDM di IPA harus ditingkatkan seperti menerapkan sebuah program “*employee of the month*”, sedangkan dari segi teknis salah satunya adalah memonitoring secara rutin metode analisa kualitas air yang baik dan benar pada air baku dan air produksi IPA. Penelitian ini juga mendapati sisi kebaruan yaitu pengintegrasian model FTA dan DEMATEL yang terbukti dapat menyelesaikan *problem*.

Kata kunci : Risiko Operasional, *Fault Tree Analysis* (FTA), *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL), Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA), Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM), strategi mitigasi risiko.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**FAULT TREE AND DECISION MAKING TRIAL AND EVALUATION  
LABORATORY MODEL FOR FORMULATE RISK MITIGATION  
STRATEGIES AT WATER PRODUCTION PROCESS OF PDAM BAUBAU**

Name : Widya Spalanzani  
NRP : 02411750013001  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Udisubakti Ciptomulyono, M.Eng.Sc  
Co-Supervisor : Dr. Ir. Mokh. Suef., M.Sc., (Eng.)

**ABSTRACT**

*Failure to identify water quality is one of the main causes of the operational risk of drinking water treatment plants (IPA). Operational risk is the risks associated with the operation of a company organization that is unexpected and causes financial losses to the company. One of the companies that failed to identify water quality is the Baubau municipal water utility, the regional drinking water company that is still heavily reliant on knowledge, the production operators are very limited, and the IPA equipment is minimal. The purpose of this study is to solve problems that exist in IPA by making risk mitigation strategies. Risk mitigation is a way to manage risk to reduce the possibility of risk. The Fault Tree Analysis (FTA) together with the Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL) was used in identifying the risk of causality from top to bottom and from left to right. The risk assessment will use the likelihood and consequence parameters which consist of 5 operational risks, namely the quality of deteriorating water sources, damage to mechanical components, operational errors, failure of quality control, and improper materials. Each of the five operational risks is sought for causes from top to bottom or vertically and there will be a risk map determined using an FTA, and there will be 5 risk level groups that have a risk relationship from the left to the right horizontally with DEMATEL. Based on the risk assessment, a risk mitigation strategy is formed considering the losses that could endanger the PDAM. The results of the identification result in 2 operational risks including in high risk and the other 3 are medium risk and have a large potential loss, then the risks have a relationship between the risks. One of the proposed risk mitigation strategies in terms of human resources (HR) is that the performance of human resources in IPA must be improved, such as implementing an "employee of the month" program, while technically one of them is to routinely monitor good water quality analysis methods. and true in raw water and water produced by science. This study also found a novelty, namely the integration of FTA and DEMATEL models that proved to be able to solve problems.*

*Keywords: Operational Risk, Fault Tree Analysis (FTA), Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL), Drinking Water Treatment Plant (IPA), Regional Water Supply Company (PDAM), risk mitigation strategy.*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah memberikan anugerah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul “**Model Fault Tree dan Decision Making Trial and Evaluation Laboratory untuk Merumuskan Strategi Mitigasi Risiko Proses Produksi Air PDAM Baubau**” dengan baik. Pembuatan Tesis ini belum tentu selesai tanpa bantuan dari semua pihak yang terkait. Adapun penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. *Allah Subhanahu Wa Ta'ala* Yang Maha Pengasih yang selalu melimpahkan segala rahmat, hidayah, dan Inayah-Nya.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Udisubaktiptomulyono, M.Eng.Sc dan Bapak Dr. Ir. Mokhammad Suf., M.Sc., (Eng), sebagai dosen pembimbing akademik yang membimbing penulis pada persiapan penelitian dan penyusunan tesis.
3. Ibu Nani Kurniati, ST., MT., Ph.D dan Ibu Putu Dana Karningsih, ST., M.Eng.Sc., Ph.D yang telah memberikan kritik dan saran atas tesis ini.
4. Staf pengajar dan akademik program magister departemen teknik industri ITS atas ilmu dan bantuannya selama penulis belajar di FTI ITS.
5. Operator-operator Instalasi Pengolahan Air Minum dan manajemen PDAM yang banyak memberikan bimbingan, masukan, waktu dan tenaga sampai terselesaikannya tesis ini.
6. Untuk Mama, Bapak, Kakak, adek, dan keluarga besar atas dukungan moril maupun materil serta teman-teman TI ITS Angkatan 2017 Ganjil, kakak adek angkatan, dan teman juga sahabat-sahabat yang selalu ada.

Penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih memerlukan perbaikan sehingga perlu adanya kritik dan saran. Semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk kemajuan teknologi dan kereyakasaan dibidang industri bagi siapapun yang membacanya.

Surabaya, Juli 2019

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan Penelitian .....	5
1.4 Manfaat Penelitian .....	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5.1 Batasan Penelitian .....	6
1.5.2 Asumsi Penelitian .....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	7
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 Pengolahan Air Bersih / Proses Produksi Air Bersih .....	9
2.1.1 Sumber Air .....	9
2.1.2 Proses Pengolahan Air Bersih .....	10
2.2 Risiko .....	15
2.2.1 Definisi Risiko .....	15
2.2.2 Perhitungan Risiko .....	17
2.3 Manajemen Risiko .....	17
2.4 Proses Identifikasi Potensi Bahaya .....	23
2.5 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	25

2.5.1 Analisa Kualitatif.....	28
2.5.2 Analisa Kuantitatif.....	31
2.6 <i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i> (DEMATEL) ..	32
2.7 Posisi Penelitian.....	36
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....	43
3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	43
3.2 Penjabaran <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	43
3.2.1 Tahap Identifikasi Awal dan Penetapan Tujuan Penelitian....	43
3.2.2 Tahap Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisa Data .....	45
3.2.3 Tahap Kesimpulan dan Saran .....	48
BAB 4 PENGUMPULAN, PENGOLAHAN, DAN ANALISA DATA .....	53
4.1 Pengumpulan Data.....	53
4.1.1 Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA).....	53
4.1.2 Proses Produksi dan Permasalahan yang terjadi di IPA.....	54
4.2 Pengolahan dan Analisa Data .....	57
4.2.1 <i>Establish the Context</i> .....	57
4.2.2 Identifikasi Risiko.....	57
4.2.3 Analisa Risiko operasional dengan FTA .....	58
4.2.4 Analisa Risiko operasional dengan DEMATEL.....	69
4.2.5 Evaluasi Risiko .....	74
4.2.6 Strategi Mitigasi Risiko .....	77
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN .....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Air Permukaan dan Air Tanah .....	10
Tabel 2.2 <i>Likelihood</i> .....	21
Tabel 2.3 <i>Consequences</i> .....	21
Tabel 2.4 Metode-metode Identifikasi Risiko.....	24
Tabel 2.5 Simbol-simbol dalam FTA .....	27
Tabel 2.6 Metode-metode Penelitian Hubungan Sebab dan Akibat antar Kriteria.....	35
Tabel 2.7 Posisi Penelitian .....	38
Tabel 3.1 Faktor-faktor Risiko.....	46
Tabel 4.1 Jumlah Pelanggan IPA Tahun 2018.....	53
Tabel 4.2 Identifikasi Risiko Operasional dan Frekuensi terjadinya di IPA .....	57
Tabel 4.3 Perhitungan <i>Likelihood</i> .....	61
Tabel 4.4 Perhitungan <i>Consequences</i> .....	65
Tabel 4.5 <i>Consequences</i> dan <i>Likelihood</i> .....	66
Tabel 4.6 Hasil Kuisisioner DEMATEL (Intensitas Hubungan Relasi antar Faktor.....	69
Tabel 4.7 Matriks Hubungan Langsung (Z) .....	70
Tabel 4.8 Matriks Normalisasi (X) dari Matriks Z .....	70
Tabel 4.9 Matrik (I-X) .....	71
Tabel 4.10 Matriks $(I-X)^{-1}$ .....	71
Tabel 4.11 Matriks $T_c = (I-X)^{-1}$ .....	71
Tabel 4.12 Matriks Nilai D dan R.....	72
Tabel 4.13 Risiko Operasional Kelompok <i>Dispatcher</i> .....	72
Tabel 4.14 Risiko Operasional Kelompok <i>Receiver</i> .....	73
Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Analisa menggunakan Metode FTA dan DEMATEL.....	73
Tabel 4.16 Matriks Hubungan Total .....	75
Tabel 4.17 Hasil peta <i>Impact Diagram</i> .....	75
Tabel 4.18 Hasil Analisis FTA dan DEMATEL .....	76

Tabel 4.19 Risiko Operasional dengan Level <i>High Risk</i> .....	78
Tabel 4.20 Risiko Operasional dengan Level <i>Medium Risk</i> .....	80

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Aliran Proses Instalasi Pengolahan Air Minum.....	2
Gambar 2.1 <i>Fault Tree</i> dengan Komponen yang Sederhana.....	28
Gambar 2.2 <i>Fault Tree</i> setelah Diterapkan Metode <i>Logical Reduction</i> .....	30
Gambar 2.3 <i>Fault Tree</i> dengan Komponen yang Banyak .....	30
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	49
Gambar 3.2 Model Hubungan Risiko Operasional FTA dan DEMATEL .....	51
Gambar 4.1 Aliran Proses Instalasi Pengolahan Air Minum di Baadia.....	56
Gambar 4.2 Identifikasi Risiko Operasional dengan FTA.....	59
Gambar 4.3 Pemetaan Risiko Operasional .....	67
Gambar 4.4 Risiko Operasional dengan Pemetaan FTA .....	68
Gambar 4.5 Hasil Analisis FTA dan DEMATEL.....	76

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR LAMPIRAN

Kuisisioner DEMATEL.....	87
Hasil Kuisisioner DEMATEL .....	91
Biodata Penulis .....	93

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# **BAB 1**

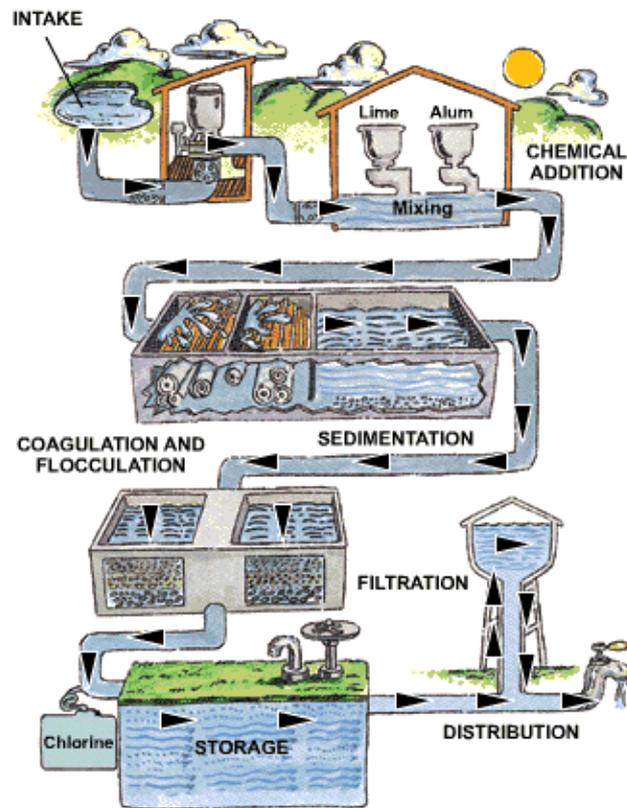
## **PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang dilakukannya penelitian mengenai identifikasi, analisis, dan evaluasi faktor-faktor risiko yang saling berhubungan, rumusan masalah yang diajukan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi penelitian serta sistematika penulisan.

### **1.1 Latar Belakang**

Dewasa ini kebutuhan akan air minum di daerah kota kecil yang sedang berkembang menjadi sangat penting, mengingat tingginya pertumbuhan penduduk. Kebutuhan air bagi penduduk bukan hanya terletak pada kuantitas saja, namun juga kontinuitas dan kualitas yang harus memenuhi standar sebagai air minum dan air yang sehat.

Kebutuhan air minum di kota Baubau dipasok oleh Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yaitu Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Baubau. Bahan baku air olahan PDAM disuplai langsung dari air sungai Kalibalana untuk diproses pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) mulai dari proses intake yang airnya diambil menggunakan media pompa, dialirkan ke proses koagulasi yang ditambahkan zat kimia (koagulan/tawas), masuk ke proses flokulasi dilakukan pengadukan *slow mixing* untuk menghasilkan flok, kemudian ke proses sedimentasi dilakukan pengendapan secara gravitasi, masuk ke proses filtrasi yang airnya akan melalui media pasir/kerikil, lalu ke proses desinfeksi untuk diberi zat kimia (desinfektan/kaporit), dan terakhir masuk ke reservoir untuk airnya di distribusikan ke konsumen. Namun, dalam operasional pengelolaan IPA sering terjadi masalah yang dapat berpotensi menimbulkan risiko. Untuk lebih jelasnya berikut merupakan gambar 1.1 aliran proses instalasi pengolahan air minum :



**Gambar 1.1** Aliran Proses Instalasi Pengolahan Air Minum

Sumber : nanosmartfilter.com

Risiko merupakan segala sesuatu yang menghambat tercapainya suatu tujuan. Adapun tujuan PDAM (2018) adalah untuk mewujudkan PDAM kota Baubau sebagai Badan Usaha Milik Daerah yang sehat, mandiri dan mampu memberikan pelayanan air bersih kepada masyarakat. Namun dalam pengoperasiannya sering terjadi masalah di IPA dan dapat menyebabkan tujuan perusahaan tidak tercapai.

Berdasarkan hasil wawancara dengan operator-operator Instalasi Pengolahan Air Minum, masalah-masalah yang terjadi seperti banyaknya unit pompa yang rusak termasuk meteran kekeruhan, mixer, meteran bahan kimia, flow meter, masalah listrik, peningkatan laju aliran, peningkatan kekeruhan, ukuran flok yang tidak tepat, flok dihapus secara tidak efisien, alat pendukung yang tidak ada, bahan kimia habis, tidak ada kontrol laju filter, saluran bawah diblok, peningkatan laju filtrasi, pemecahan kekeruhan saat difilter, inspeksi filter tidak memadai, filter kembali digunakan tanpa *backwashing*, bola lumpur, filter

tidak bersih, kehilangan media (pasir dan kerikil), pengontrol dosis tidak berfungsi, kerusakan pompa dosing, dosis desinfektan tidak optimum, tidak melaporkan residu dan lokasi, pemantauan residu klor/kaporit yang tidak memadai.

Masalah-masalah tersebut merujuk pada segi operasional. Dimana Menurut Herman (2006) risiko operasional adalah risiko-risiko yang berhubungan dengan operasional organisasi perusahaan yang mencakup kejadian risiko yang berhubungan dengan sistem organisasi, proses kerja, teknologi, dan sumber daya manusia. Risiko operasional yang ada dalam penelitian ini terjadi pada proses pengolahan air dengan risiko kegagalan kualitas air IPA.

Menurut hasil *Focus Group Discussion* (FGD) yang dilakukan kepada kepala seksi produksi dan operator-operator IPA menyebutkan bahwa dilapangan risiko operasional yang terjadi memiliki keterkaitan satu dengan yang lainnya sehingga berdampak pada operasional instalasi pengolahan yang dapat terganggu kapan saja. bahkan sampai tidak beroperasi dan dapat menimbulkan kerugian bagi perusahaan PDAM. Maka dari itu, risiko sangat penting untuk dikelola dalam suatu perusahaan, apalagi dari pengamatan peneliti, diketahui juga bahwa instalasi pengolahan air minum ini belum memiliki sistem manajemen risiko yang memadai. Hal ini diketahui karena saat dilakukannya penelitian operator IPA dan karyawan PDAM tidak memiliki dokumen manajemen risiko.

Menurut *World Health Organization* (WHO) manajemen risiko adalah suatu alat untuk mengelola dan menangani risiko. WHO (2004) menunjukkan bahwa aspek penting terkait manajemen risiko pada *Water Safety Plan* (WSP), termasuk penilaian sistem, pemantauan operasional, dan rencana manajemen merupakan bagian dari manajemen risiko yang komprehensif. Terlebih ketika melakukan analisis risiko sistem air minum dengan mempertimbangkan keseluruhan sistem dari sumber air sampai ke sistem pengolahannya. Untuk lebih jelasnya standar ISO 31000 telah merincikan penanganan manajemen risiko yang terstruktur mulai dari melakukan *establish the context*, identifikasi risiko, analisis risiko, evaluasi risiko dan opsi alternatif untuk pengurangan risiko (mitigasi risiko). Sehubungan dengan hal ini maka perlu dilakukan suatu penelitian yang

bertujuan untuk membuat strategi mitigasi risiko/pengendalian risiko untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan dari risiko operasional IPA.

Bramanti (2007); Norberg et al., (2009); Stein et al., (2017) sama-sama membahas penelitian tentang analisis risiko pada instalasi pengolahan air untuk menghasilkan strategi mitigasi risikonya menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Namun, dari penelitian-penelitian sebelumnya untuk kasus IPA ini ada yang belum dipertimbangkan yaitu proses bisnis di PDAM dengan risiko-risiko yang saling berpengaruh.

Adanya gambaran risiko-risiko yang saling berpengaruh menyebabkan pendekatan yang diajukan oleh peneliti sebelumnya tidak bisa cocok karena tidak mempertimbangkan hubungan keterkaitan antar risiko. Stein et al., (2017) mengemukakan bahwa pada prakteknya faktor-faktor risiko yang ada saling memiliki hubungan keterkaitan satu dengan yang lain.

Penelitian yang membahas tentang hubungan keterkaitan antar faktor-faktor risiko baru dibahas oleh satu peneliti dengan mempertimbangkan keberlanjutan keamanan air. Nie et al., (2018) melakukan suatu penelitian untuk mengidentifikasi, menilai, dan menyelidiki berbagai teknik *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yakni *Best Worst Method* (BWM), *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), dan metode *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) untuk menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh pada *Water Security Sustainability* (WSS) dengan mencari keterkaitan antar faktor risikonya.

Pada penelitian tersebut, dijelaskan bahwa teknik MCDM yang digunakan dapat menghasilkan identifikasi dimensi ukuran, menormalkan dengan benar dan mewakili informasi serta membangun kerangka kerja keputusan yang tepat sehingga dapat mendukung keberlanjutan keamanan air (WSS) di wilayah industri dengan memperhitungkan hubungan dependensinya dengan keluaran berupa model *causal diagram* sehingga dapat memberi gambaran secara mendasar tentang hubungan kontekstual dan kekuatan hubungan antar faktor risikonya.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Bramanti (2007); Norberg et al., (2009); Stein et al., (2017) yang sudah menggunakan pendekatan FTA sebagai alat analisis untuk mengidentifikasi risiko dengan mencari hingga ke

akar masalah tersebut *fault tree* (diagram sebab akibat/kausalitas dari atas kebawah). Kemudian diketahui bahwa metode ini memiliki kelemahan yaitu mencari faktor-faktor risiko yang saling berhubungan (kausalitas) dari kiri ke kanan. Dengan DEMATEL hubungan kausalitas dari kiri ke kanan dapat dilakukan, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Nie et al., (2018) yang telah mengintegrasikan metode BWM, TOPSIS, dan metode DEMATEL. Disini ditemukan *research gap*, bahwa belum ada penelitian tentang model baru yaitu model FTA dan DEMATEL untuk merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi air PDAM.

Dalam penelitian ini akan dilakukan identifikasi risiko dengan membuat diagram *fault tree* untuk mencari tahu penyebab terjadinya risiko operasional secara kausalitas dari atas kebawah dengan asumsi model *fault tree* tidak ada hubungan. Kemudian dengan menyesuaikan kondisi IPA yang risikonya saling memiliki hubungan maka dilakukan kausalitas sebab akibat dari kiri kekanan untuk membuktikan asumsinya dengan menggunakan DEMATEL. Sehingga dapat disusun strategi mitigasi atau pengendalian risiko guna menyelesaikan *problem* yang ada di IPA. Usulan rancangan strategi mitigasi risiko menjadi sangat penting mengingat manajemen risiko di PDAM kota Baubau belum tersedia. Kemudian dalam penelitian ini ditemukan kebaruan dari sisi metode yaitu pemodelan dengan integrasi metode FTA dan DEMATEL.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Perumusan masalah berdasarkan latar belakang diatas yaitu bagaimana membuat model FTA dan DEMATEL untuk merumuskan strategi mitigasi risiko proses produksi air PDAM ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dalam penelitian ini yang ingin dicapai adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan model FTA yang diintegrasikan dengan DEMATEL sehingga model mampu mengatasi faktor-faktor risiko operasional yang saling berhubungan.

2. Mengimplementasikan model FTA dan DEMATEL dalam melakukan penilaian risiko di PDAM.
3. Merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi di PDAM.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menambahkan aspek teoritis dengan mengkombinasikan FTA dan DEMATEL untuk mengatasi faktor-faktor risiko operasional yang saling berhubungan.
2. Memberikan pengetahuan baru tentang pengaruh metode DEMATEL dalam struktur FTA terhadap proses produksi air PDAM.
3. Mengetahui skenario mitigasi risiko untuk diterapkan diproses produksi air PDAM.
4. Dapat menjadi pedoman untuk menciptakan manajemen risiko di perusahaan daerah air minum kota Baubau.

#### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini memiliki batasan dan asumsi sebagai berikut :

##### **1.5.1 Batasan Penelitian**

Batasan pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian dilakukan di unit instalasi pengolahan air minum Baadia PDAM kota Baubau.
2. Penelitian ini fokus terhadap risiko operasional dengan strategi mitigasi risiko yang dihasilkan berupa sumber daya manusia dan teknis.
3. Penelitian ini menggunakan DEMATEL hanya untuk mengetahui risiko operasional yang dihasilkan FTA memiliki hubungan antara satu dengan yang lainnya dan berdampak besar pada operasional IPA.

##### **1.5.2 Asumsi Penelitian**

Asumsi pada penelitian ini adalah :

1. Model *risk event* tidak ada hubungan.
2. Tidak terjadi perubahan proses pada IPA PDAM kota Baubau selama penelitian ini dilakukan.

3. Data-data yang berhubungan dengan proses produksi air merupakan data operasional dalam PDAM.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Penelitian ini memiliki sistematika penulisan sebagai berikut :

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang dilakukannya penelitian mengenai identifikasi, analisis, dan evaluasi faktor-faktor risiko yang saling berhubungan, rumusan masalah yang diajukan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan dan asumsi penelitian serta sistematika penulisan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi mengenai kajian pustaka yang didapatkan dari buku, paper dan jurnal yang berisi landasan konseptual dari penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti, meliputi landasan teori, konsep metode dan alat yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian dan pengolahan data dan membantu dalam mengimplementasikan hasil penelitian yang diperoleh. Adapun konsep yang digunakan pada penelitian ini adalah konsep yang berhubungan dengan proses produksi air PDAM, risiko operasional, pengolahan air bersih/proses produksi air bersih, manajemen risiko air minum, *Fault Tree Analysis*, dan DEMATEL.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai *flowchart* dari metodologi penelitian beserta penjabaran dari *flowchart* tersebut.

### **BAB 4 PENGUMPULAN, PENGOLAHAN, DAN ANALISA DATA**

Pada bab 4 akan dijelaskan dan diuraikan data-data yang telah dikumpulkan berkaitan dengan masalah-masalah yang terjadi pada proses produksi air PDAM. Selanjutnya akan dilakukan pengolahan sekaligus analisa data menggunakan FTA dan DEMATEL. Kemudian diberikan usulan rancangan strategi mitigasi risiko pada setiap risiko operasional yang terjadi di ipa.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi rincian kesimpulan dan saran yang merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari seluruh proses penelitian yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian. Kemudian diberikan saran yang berisi tentang kelemahan penelitian serta peluang penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi mengenai kajian pustaka yang didapatkan dari buku, paper dan jurnal yang berisi landasan konseptual dari penelitian yang akan dilakukan oleh peneliti, meliputi landasan teori, konsep metode dan alat yang menjadi acuan dalam melakukan penelitian dan pengolahan data dan membantu dalam mengimplementasikan hasil penelitian yang diperoleh. Adapun konsep yang digunakan pada penelitian ini adalah konsep yang berhubungan dengan proses produksi air PDAM, risiko operasional, pengolahan air bersih/proses produksi air bersih, manajemen risiko air minum, *Fault Tree Analysis*, dan DEMATEL.

#### **2.1 Pengolahan Air Bersih/Proses Produksi Air Bersih**

##### **2.1.1 Sumber Air**

Penyediaan air bersih yang baik tidak terlepas dari sistem yang dijalankan perusahaan penyedia air bersih yang salah satu diantaranya adalah pemilihan sumber air. Sumber air dan karakteristik yang terkandung didalamnya menentukan sistem yang digunakan. Beberapa potensi sumber air yang biasa digunakan yaitu air permukaan, air hujan, air laut, dan air tanah.

Pemilihan sumber air yang dipakai sebagai bahan baku suatu pengolahan air yang harus dipertimbangkan yaitu kuantitas air yang diperlukan, kualitas air baku, dan kekontinyuitasannya. Adapun untuk bangunan pengolahan yang perlu diperhatikan adalah kesulitan dalam membangun intake, keselamatan operator, biaya operasi, dan pemeliharaan yang minimal dilakukan, kemungkinan kontaminasi sumber air pada waktu yang akan datang serta kemudahan memperbesar intake jika diperlukan suatu saat nanti.

Berbagai macam sumber air yang ada akan dipaparkan, sumber air permukaan dan air tanah merupakan pilihan yang banyak digunakan dengan perbedaan karakteristik dari keduanya dapat dilihat pada tabel 2.1 :

**Tabel 2.1** Karakteristik Air Permukaan dan Air Tanah

<b>Karakteristik</b>	<b>Air Permukaan</b>	<b>Air Tanah</b>
Temperatur	Bervariasi, tergantung musim	Relatif konstan
Kekeruhan, Suspended Solid (SS)	Bervariasi, kadang tinggi	Rendah atau nol, kecuali tanah karst
Warna	Terutama disebabkan oleh SS (tanah liat, alga), kecuali air yang sangat lunak atau asam (asam humat)	Disebabkan oleh <i>dissolved solid</i> (asam humus)
Kandungan mineral	Bervariasi tergantung tanah, hujan, efluen, dll.	Besar, biasanya lebih besar dari air permukaan
Fe dan Mn	Biasanya tidak ada kecuali pada dasar danau atau <i>pond</i> dalam proses eutrofikasi	Biasanya ada
Co <sub>2</sub> Agresif	Biasanya tidak ada	Sering ada
DO	Sering mendekati jenuh, kecuali pada air yang terpolusi	Biasanya tidak ada
H <sub>2</sub> S	Biasanya tidak ada	Sering ada
NH <sub>4</sub>	Ditemukan hanya pada air yang terpolusi	Sering ditemukan
Nitrat	Umumnya rendah	Kadang-kadang tinggi
Silika	Biasanya sedang	Sering tinggi
Organisme	Bakteri (patogenik), virus, plankton	Bakteri besi
Pelarut terklorinasi	Jarang	Sering ada

Sumber : Degremont (1979)

### 2.1.2 Proses Pengolahan Air Bersih

Tahapan pengolahan air bersih yang digunakan sangat beragam tergantung dari jenis sumber air baku yang digunakan. Untuk air baku yang berasal dari sumber air tanah (mata air dan sumur) secara umum memerlukan proses

pengolahan yang lebih sederhana dan relatif lebih mudah untuk dapat menghasilkan kualitas air minum yang sesuai standar kualitas air yang diisyaratkan. Namun berbeda dengan air baku yang berasal dari air permukaan (danau, telaga atau sungai), proses produksi atau sistem pengolahan yang digunakan lebih lengkap dan dengan menggunakan desain unit yang lebih kompleks. Hal ini mengingat bahwa proses pengolahan terhadap air baku dari sumber air permukaan tersebut harus dapat menghilangkan atau mereduksi kandungan mineral dengan kategori fisis (kekeruhan, warna, dan bau), kimiawi, dan biologi (bakteri).

Menurut Stein et al., (2017) proses pengolahan air konvensional dikategorikan ke dalam tiga unit terpisah yakni unit pertama adalah koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi untuk menghilangkan padatan tersuspensi dan berukuran relatif besar, unit kedua yaitu filtrasi untuk menghilangkan partikel koloid (kekeruhan), dan unit ketiga adalah desinfeksi untuk menghilangkan bakteri patogen. Pemeliharaan ketiga unit pengolahan ini memainkan peranan yang sangat penting dalam memproduksi air minum yang aman, namun dalam pengolahannya terdapat *impact* risiko yang satu berhubungan dengan yang lain. Banyak kejadian kritis yang mungkin terjadi selama proses pengolahan air seperti keberadaan bakteri patogen dalam air yang diolah akan menjadi hasil dari unit yang buruk, karena pengolahan unit sebelumnya yaitu unit 1 dan 2 mempengaruhi hasil olahan unit berikutnya, kemudian kekeruhan pada unit 1 dan 2 memiliki hubungan erat dengan parameter lain seperti konsentrasi padatan tersuspensi dan populasi mikroba sehingga identifikasi penyebab kegagalan yang sebenarnya menjadi masalah yang cukup kompleks.

Adapun menurut Norberg et al., (2009) sistem air minum meliputi tiga sub-sistem utama yaitu air baku, pengolahan, dan distribusi yang mencakup seluruh rantai pasokan yang dapat menimbulkan bahaya. Kejadian kegagalan diseluruh rantai pasokan saling berpengaruh satu sama lain. Kegagalan pasokan yang dimaksud didefinisikan sebagai kegagalan kuantitas yang dapat disebabkan oleh kegagalan komponen seperti kerusakan pipa, atau kualitas air baku yang tidak dapat diterima menyebabkan utilitas air menghentikan pengiriman. Kegagalan kualitas dapat terjadi dikarenakan tidak terdeteksinya kualitas air yang

tidak dapat diterima tetapi tidak ada tindakan yang mungkin dilakukan, atau karena kualitas yang tidak dapat diterima terdeteksi namun tidak ada tindakan yang diambil atau tidak memungkinkan untuk menghentikan distribusinya.

Menurut Degremont (1979) dalam Bramanti (2007), secara umum tahapan proses pengolahan air bersih yang lengkap secara berurutan meliputi :

1. Proses prasedimentasi yaitu proses pengendapan awal untuk menyisahkan material penyebab kekeruhan dengan ukuran partikel yang relatif besar/kasar.
2. Proses koagulasi-flokulasi
  - a. Proses koagulasi yaitu proses pembubuhan zat kimia (koagulan) pada air baku.
  - b. Proses flokulasi yaitu proses bercampurnya zat koagulan dengan air baku yang berfungsi untuk mempercepat terjadinya gumpalan (flok) dari partikel-partikel halus penyebab kekeruhan (koloid) agar lebih mudah untuk diendapkan.
2. Proses sedimentasi proses pengendapan flok untuk mengurangi kekeruhan air yang terbawa dari proses koagulasi-flokulasi.
3. Proses filtrasi yaitu proses penyaringan melalui media lapisan pasir untuk menjernihkan air pada tahap akhir.
4. Proses aerasi yaitu proses kontak air dengan udara untuk menambah kandungan O<sub>2</sub> dalam air.
5. Proses desinfeksi yaitu proses pembubuhan zat kimia (*desinfektan*) untuk membunuh kuman/bakteri dalam air.

Apabila dijelaskan lebih rinci proses pengolahan air bersih dengan air sungai sebagai air baku dan dengan menggunakan bangunan pengolah yang konvensional adalah sebagai berikut :

1. Pengolahan pendahuluan (*Pretreatment*)

*Pretreatment* dilakukan di awal pengolahan sebelum masuk ke unit-unit bangunan pengolah air bersih. Yang termasuk dalam *pretreatment* ini adalah :

- a. *Screening* yaitu alat yang digunakan untuk memisahkan kotoran-kotoran yang berukuran besar agar tidak masuk ke unit-unit pengolah

air bersih. *Screening* biasanya bagian dari intake yang terdiri dari batang-batang besi yang disusun berjajar atau paralel.

- b. *Grit chamber* adalah unit pengolah awal yang berbentuk bak atau saluran dangkal untuk menangkap *grit*. *Grit* merupakan partikel yang berukuran besar yang lebih mudah mengendap dalam air. Contoh *grit* : kerikil, pasir kasar, lumpur kasar, butiran kaca, dan sebagainya. Bangunan ini hanya diperlukan bila air baku mengandung *grit* dalam jumlah yang besar.
- c. Prasedimentasi (Sedimentasi I), dimaksudkan untuk mengendapkan partikel diskret atau partikel kasar atau lumpur. Prasedimentasi hanya diperlukan bila dalam air baku terdapat partikel diskret atau partikel kasar atau lumpur dalam jumlah yang besar. Pengendapan dilakukan dalam bak dengan waktu detensi 2-4 jam dalam aliran laminar untuk memberikan kesempatan pada lumpur mengendap tanpa terganggu aliran. Harus dilakukan pengurasan lumpur secara periodik. Jika tidak dilakukan akan berisiko air menjadi keruh dan menyebabkan kualitas air menjadi buruk.

## 2. Koagulasi dan Flokulasi

Koagulasi dan flokulasi merupakan dua proses yang saling berkaitan satu sama lain dan tidak terpisahkan, kedua proses ini terjadi pada bak koagulator dan flokulator.

- a. Koagulasi adalah destabilisasi muatan pada koloid dan pedatan tersuspensi dengan bahan koagulan. Tujuan koagulasi adalah untuk menghasilkan flok-flok dari hasil penggabungan ion koagulan dan partikel yang tidak stabil untuk menggabungkan ion-ion dengan muatan berlawanan.
- b. Flokulasi adalah proses pembentukan flok dari partikel yang tidak stabil (hasil koagulasi) menjadi partikel flok atau flok yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap. Tujuan flokulasi yaitu untuk menggabungkan flok kecil menjadi flok yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap dan menjaga flok yang telah terbentuk agar tidak pecah kembali.

Pada setiap proses koagulasi-flokulasi terdapat potensi yang dapat menimbulkan risiko kualitas air menjadi buruk apabila zat kimia (bahan koagulan) yang digunakan tidak dilakukan dengan benar.

### 3. Sedimentasi

Proses sedimentasi merupakan proses pemisahan *solid liquid* yang memanfaatkan pengendapan secara gravitasi untuk menyisahkan *suspended solid*. Partikel yang diendapkan adalah partikel flokulen dari bak flokulator. Tujuan pengendapan II adalah untuk menghilangkan kandungan *solid* dalam air dengan cara mengendapkan partikel flokulen didalam bak sedimentasi. Prinsipnya sama dengan bak sedimentasi I (Prasedimentasi) hanya saja yang membedakan partikel yang diendapkan adalah partikel flokulen pada sedimentasi II.

### 4. Filtrasi

Yaitu proses alami yang terjadi didalam tanah dimana air baku melewati media berbutir dan terjadi proses penyaringan sehingga prinsip tersebut digunakan sebagai dasar perancangan bak filter. Tujuan filtrasi adalah untuk menghilangkan partikel yang tersuspensi atau koloidal yang tidak mengendap selama proses sedimentasi. Selain itu, filtrasi juga dapat menghilangkan bakteri secara efektif dan membantu removal warna, bau, rasa, Fe dan Mn.

### 5. Desinfeksi

Merupakan langkah terakhir dalam proses pengolahan air bersih. Proses ini menggunakan desinfektan (biasanya klor/kaporit) dengan memanfaatkan sisa klor untuk membunuh mikroorganisme yang terdapat pada air bersih. Desinfeksi wajib dilakukan sebagai prasyarat air siap dimanfaatkan konsumen.

### 6. Reservoir

Reservoir adalah tanki penyimpanan air yang berlokasi pada instalasi Qasim et al., (2000). Air yang sudah diolah disimpan pada tanki ini untuk kemudian ditransfer ke sistem distribusi.

Proses yang terjadi dalam pengolahan air bersih sangat tergantung dari kualitas dan karakteristik air baku yang digunakan. Bisa saja proses diatas bertambah misalnya bila air baku yang digunakan memiliki kandungan Fe dan Mn yang tinggi sehingga dibutuhkan bangunan aerasi untuk meremove zat tersebut.

Demikian halnya bila air baku memiliki kualitas air yang cukup baik sehingga hanya dibutuhkan desinfeksi sebelum didistribusikan ke konsumen. Oleh karena itu, kualitas dan karakteristik air baku menjadi perhatian khusus dalam pengolahan air bersih, jika salah atau tidak benar dalam setiap proses pengolahannya maka akan menimbulkan risiko yang tidak diinginkan.

## **2.2 Risiko**

### **2.2.1 Definisi Risiko**

Risiko menyatakan probabilitas kejadian yang menyebabkan kerugian atau konsekuensi. Sedangkan definisi lain dari risiko menurut AS/NZS (1999) merupakan suatu kemungkinan dari suatu kejadian yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi suatu tujuan. Dijelaskan pula bahwa risiko adalah pemaparan tentang kemungkinan dari suatu hal seperti kerugian atau keuntungan secara finansial, kerusakan fisik, kecelakaan atau keterlambatan sebagai konsekuensi fisik dari suatu aktivitas. Risiko dapat dikatakan sebagai suatu ketidakpastian yang dihadapi oleh seseorang atau perusahaan yang dapat memberikan dampak yang merugikan. Dalam setiap aktivitas perusahaan, risiko merupakan suatu yang tidak terelakkan terjadi, namun risiko tersebut dapat dikelola dan dikurangi. Risiko adalah pernyataan dari *likelihood* dan akibat dari suatu kejadian yang berpotensi mempengaruhi pencapaian objektif suatu perusahaan. Dalam suatu perusahaan, risiko yang terjadi dibedakan menjadi beberapa jenis menurut Herman (2006) :

1. *Operasional risk* adalah risiko-risiko yang berhubungan dengan operasional organisasi perusahaan yang mencakup kejadian risiko yang berhubungan dengan sistem organisasi, proses kerja, teknologi, dan sumber daya manusia.
2. *Financial risk* merupakan risiko yang berdampak pada kinerja keuangan perusahaan.
3. *Hazard risk* adalah risiko kecelakaan fisik seperti kejadian risiko sebagai akibat dari bencana alam, berbagai kejadian atau kerusakan yang menimpa harta perusahaan dan adanya ancaman perusakan.

4. *Strategic risk* yaitu mencakup kejadian risiko yang berhubungan dengan strategi perusahaan, politik ekonomi, peraturan dan perundangan, pasar bebas, risiko yang berkaitan dengan reputasi perusahaan, kepemimpinan, dan termasuk perubahan keinginan pelanggan.

Sedangkan menurut Umar (2001) menyatakan bahwa terdapat dua tipe risiko yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Tipe pertama yaitu yang sulit dikendalikan oleh manajemen perusahaan seperti risiko kebakaran akibat arus listrik atau penipuan yang dilakukan oleh pihak-pihak tertentu. Perusahaan biasanya melindungi diri, misalnya dengan cara membeli asuransi.
2. Tipe kedua adalah risiko yang dapat dikendalikan oleh manajemen perusahaan. Risiko ini dapat terjadi misalnya pada saat perusahaan membangun pabrik yang baru, meluncurkan produk baru atau pada saat pengambilan keputusan seperti pada saat pemilihan distributor dan lain sebagainya.

Adapun menurut Standards (2004) dalam Wu et al., (2015), yang mendefinisikan risiko sebagai "kombinasi dari kemungkinan dan konsekuensi dari kejadian berbahaya yang spesifik." Sedangkan pedoman manajemen risiko dari ISO 31000:2009 (2009) dalam Wu et al., (2015), mendeskripsikan risiko yang lebih luas yaitu : "Organisasi dari semua jenis dan ukuran yang menghadapi faktor internal dan eksternal dan pengaruh yang membuatnya, tidak yakin tentang apakah dan kapan mereka akan mencapai tujuan mereka. Pengaruh dari ketidakpastian ini terhadap tujuan organisasi disebut dengan risiko". Semakin tinggi tingkat ketidakpastian yang dihadapi oleh suatu organisasi, maka semakin tinggi pula konsekuensi dan kemungkinan risiko yang akan terjadi. Guna meminimalisasi risiko yang mungkin muncul, risiko harus didefinisikan dalam bentuk suatu rencana atau prosedur yang reaktif.

Risiko yang terjadi dalam perusahaan sangat tergantung dari manajemen perusahaan. Bisa saja manajemen perusahaan menimbulkan risiko-risiko yang tadinya dapat dikendalikan menjadi tidak terkendali misalnya saja pada proses instalasi pengolahan air minum yang memiliki standar proses untuk pembubuhan bahan kimia di tahap koagulasi namun pengolah IPA tidak mengetahui standar

prosesnya dikarenakan kurangnya pelatihan tenaga kerja IPA dan menimbulkan risiko yang dapat mempengaruhi proses sehingga menghasilkan risiko kualitas yang tidak baik dan menjadi tidak terkendali jika sudah sampai ke tangan konsumen.

### 2.2.2 Perhitungan Risiko

Dari definisi diatas diketahui bahwa risiko adalah kombinasi dari *likelihood* (probabilitas) dan *consequence* (dampak). *Likelihood* merupakan kemungkinan suatu risiko yang akan muncul, biasanya digunakan data historis untuk mengestimasi kemungkinan tersebut. Perhitungan kemungkinan atau peluang yang sering digunakan adalah frekuensi. Sedangkan *consequence* adalah yang sering digunakan dari suatu kejadian yang biasanya diekspresikan sebagai kerugian dari suatu risiko, sehingga *consequence* dihitung dari biaya kerugian yang dialami dalam suatu periode waktu dari suatu risiko atau kejadian.

Risiko adalah fungsi dari *likelihood* dan *consequences* dengan perhitungannya :

$$Risk = f (consequence, likelihood) \quad (2.1)$$

Dalam industri dengan pendekatan kuantitatif biasanya dinyatakan dengan perhitungan :

$$Risks = likelihood \times consequence \quad (2.2)$$

Keterangan :

*Likelihood* : frekuensi kegagalan untuk suatu risiko

Contoh: tiga kali per tahun

*Consequence* : konsekuensi untuk suatu risiko

Contoh: kerugian sebesar tiga juta rupiah

### 2.3 Manajemen risiko

Menurut Hopkinson (2011) dalam Suparno (2015) manajemen risiko adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk menanggapi risiko yang telah diketahui. Sedangkan manajemen risiko menurut AS/NZS (1999) merupakan suatu proses yang logis dan sistematis dalam mengidentifikasi, menganalisa, mengevaluasi, mengendalikan, mengawasi, dan mengkomunikasikan risiko yang berhubungan dengan segala aktivitas, fungsi atau proses dengan tujuan

perusahaan yang mampu meminimasi kerugian dan memaksimalkan kesempatan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa manajemen risiko adalah suatu proses pengukuran atau penilaian risiko serta pengembangan strategi bagi pengelolanya. Fungsi dari manajemen risiko adalah untuk menemukan kerugian potensial yang dapat menimbulkan risiko, mengevaluasi kerugian potensial dan memilih cara/teknik yang tepat atau menentukan suatu kombinasi dari teknik-teknik yang tepat guna menanggulangi kerugian.

Adapun tujuan (objektif) dari manajemen risiko menurut Herman (2006) yakni :

1. Kelangsungan hidup (*survival*)
2. Kedamaian pikiran
3. Memperkecil biaya
4. Menstabilkan pendapatan perusahaan
5. Memperkecil atau meniadakan gangguan operasi perusahaan
6. Melanjutkan pertumbuhan perusahaan
7. Merumuskan tanggung jawab sosial perusahaan terhadap karyawan dan masyarakat.

Suatu keseimbangan antara biaya dalam mengelola risiko dengan keuntungan yang akan didapatkan sangat dibutuhkan untuk melaksanakan program manajemen risiko. Hal ini dapat membantu menentukan level manajemen risiko yang akan diaplikasikan. Untuk beberapa kasus, biaya perhitungan untuk menghindari risiko atau menguranginya dapat menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan konsekuensi yang diakibatkan oleh risiko tersebut. Sedangkan di kasus lain, tindakan pencegahan dari suatu risiko biayanya akan lebih tinggi, dikarenakan risiko tersebut tingkatannya sangat rendah dan dapat diterima. Oleh karena itu, manajemen risiko digunakan untuk mengelola adanya risiko tersebut. Adapun standar-standar yang telah digunakan dalam manajemen risiko adalah CAN/CSA (2004), AS/NSZ (2004), dan AS/NSZ (2009) dalam Indah (2016). AS/NSZ (2009) mempunyai *framework* manajemen risiko yang terdiri dari prinsip-prinsip manajemen risiko yang sudah dinyatakan dengan eksplisit. *Framework* manajemen risiko terdiri dari desain *framework* untuk mengelola risiko, penerapan manajemen risiko, pemantapan manajemen risiko,

*review framework*, dan perbaikan yang berkesinambungan dari *framework*. Adapun *framework* manajemen risiko dalam hal ini diadaptasi dari prinsip manajemen mutu *Plan, Do, Check, Action*. Dalam proses manajemen risiko dilakukan penentuan *framework* menurut ISO 31000, penilaian risiko mengintegrasikan empat proses yang meliputi *establish the context*, identifikasi risiko, analisis risiko, evaluasi risiko, dan menurut Yazdi (2018) pengendalian risiko.

Berikut merupakan penjelasan dari proses dalam penilaian risiko yang biasa dilakukan yaitu :

i. *Establish the Context*

Penetapan konsep (*establish the context*) bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengungkapkan sasaran organisasi, lingkungan dimana sasaran pendek dicapai, *stakeholders* yang berkepentingan, dan keberagaman kriteria risiko, dimana hal-hal ini akan membantu mengungkapkan dan menilai sifat dan kompleksitas dari risiko.

ii. Identifikasi risiko

Proses ini merupakan proses identifikasi risiko yang berpotensi terjadi dalam suatu aktivitas usaha. Dalam proses identifikasi risiko ini yang berpeluang terjadi harus segera diidentifikasi secara akurat dan proses ini sangat penting untuk dilakukan didalam manajemen risiko. Salah satu aspek penting dalam mengidentifikasi risiko adalah mendapatkan daftar risiko yang mungkin terjadi sebanyak-banyaknya dari hasil wawancara ataupun teknik lainnya. Karena hasil dari proses identifikasi risiko adalah dokumen tentang daftar risiko.

iii. Analisis Risiko

Setelah melakukan identifikasi risiko tahap selanjutnya adalah melakukan analisis risiko. Analisis risiko dilakukan dengan cara melakukan pengukuran risiko dengan mengetahui potensi terjadinya *severity* (kerusakan) dan probabilitas terjadinya risiko tersebut. Menurut Crandall (1990) dalam Abria (2014), analisis risiko didefinisikan sebagai sebuah proses yang menggabungkan ketidakpastian dalam bentuk kuantitatif, menggunakan teori probabilitas, untuk mengevaluasi dampak potensial suatu risiko. Langkah yang dilakukan pada tahapan ini adalah pengumpulan data yang relevan terhadap risiko yang akan dianalisis. Data-data ini

dapat diperoleh dari data historis perusahaan. Masalah yang biasanya dihadapi dalam tahapan ini adalah adanya teori probabilitas yang prosesnya terdiri dari ramalan yang diketahui dari ketidakpastian sehingga perlu untuk dipertimbangkan. Agar kesalahan pada proses penilaian risiko dapat dihindari atau dikurangi maka kita dapat mendefinisikan dengan jelas dan mengkonversikan ke dalam angka-angka dari tiap level dampak dan probabilitas risiko. Untuk menjawab semua permasalahan yang ditimbulkan maka sebaiknya dibuat suatu model yang bersifat global analisis dan dinamis analisis.

Pada umumnya analisis risiko dilakukan dalam bentuk analisis kuantitatif, semi kuantitatif, dan kualitatif atau kombinasi dari ketiganya. Akan tetapi, dalam pengaplikasiannya analisis kualitatif sering kali digunakan dengan tujuan untuk menentukan indikasi pada level risiko secara umum. Sedangkan analisis kuantitatif, dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih spesifik dari risiko yang dianalisis. Analisis semi kuantitatif menggunakan skala kuantitatif yang telah disusun dan diberi nilai tertentu. Masing-masing angka yang dialokasikan untuk tiap-tiap deskriptif tidak harus mempunyai hubungan yang akurat dengan besarnya *likelihood* dan *consequences*. Disini dapat digunakan kombinasi dari salah satu range formula pada angka-angka yang digunakan. Dengan kombinasi formula tersebut, dapat disusun prioritas yang disesuaikan dengan sistem yang terpilih Indah (2016).

Parameter yang digunakan dalam menganalisis risiko terdiri atas dua yaitu peluang atau probabilitas atau frekuensi terjadinya risiko (*likelihood*) dan dampak atau efek risiko (*consequences*). Penentuan *likelihood* dan *consequences* dapat dilakukan dengan mencari informasi berupa dokumen masa lalu, pengalaman yang relevan, pengalaman dan praktik industri, literatur relevan, riset pasar, eksperimen prototype, model teknik, model ekonomik, serta penilaian spesialis dan para ahli Indah (2016). Suatu risiko dapat diketahui potensi terjadinya berdasarkan pada konsekuensi, dan probabilitas yang ditimbulkan dari risiko tersebut. Dalam mengukur bobot risiko, biasanya digunakan skala likert dari 1-5 Indah (2016). Dalam penelitian ini, akan digunakan risiko operasional penilaian *likelihood* pada tahap analisis risiko disajikan pada Tabel 2.2.

**Tabel 2.2 Likelihood**

<b>Parameter Likelihood</b>	<b>Deskripsi</b>
Jarang terjadi (1)	Peristiwa ini hanya muncul pada keadaan yang luar biasa jarang (kurang dari 5%)
Agak jarang terjadi (2)	Peristiwa ini jarang terjadi (antara 5%-25%)
Mungkin terjadi (3)	Peristiwa ini kadang terjadi pada suatu waktu (antara 25%-50%)
Sering terjadi (4)	Peristiwa ini pernah terjadi dan mungkin terjadi lagi (antara 50%-75%)
Hampir pasti terjadi (5)	Peristiwa ini sering muncul pada berbagai keadaan (lebih dari 75%)

Sumber : Anityasari and Wessiana (2011) dalam Indah (2016) dan (Loosemore et al., (2006) dalam Abria (2014).

Untuk penilaian terhadap *consequences* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3 Consequences**

<b>Parameter Consequences</b>	<b>Deskripsi</b>
Tidak signifikan (1)	Tidak ada yang terluka; kerugian finansial kecil.
Kecil (2)	Pertolongan pertama; kerugian finansial medium.
Sedang (3)	Perlu perawatan medis; kerugian finansial cukup besar.
Besar (4)	Cedera parah; kerugian finansial besar.
Sangat signifikan (5)	Kematian; kerugian finansial sangat besar

Sumber : Anityasari and Wessiana (2011) dalam Indah (2016)

iv. Evaluasi Risiko

Setelah risiko–risiko yang mungkin terjadi diidentifikasi dan dianalisis dengan menggunakan parameter–parameter *likelihood* dan *consequence* risiko diatas, selanjutnya dilakukan evaluasi dampak risiko secara keseluruhan. Dalam melakukan evaluasi risiko kita dapat mengetahui risiko-risiko mana saja yang harus ditangani, dan menentukan prioritas penanganan dari risiko tersebut.

v. Pengelolaan Risiko/Mitigasi Risiko

Menurut Australian/New Zealand *Standard “Risk Management”* dalam Indah (2016) terdapat beberapa cara mengelola risiko yakni :

1. *Risk avoidance* yaitu memilih untuk tidak melakukan berbagai kegiatan yang mengandung risiko sama sekali. Penentuan keputusan dilakukan dengan cara melihat potensi keuntungan yang akan diterima dan potensi kerugian yang akan dihadapi pada suatu kegiatan.
2. *Risk reduction* disebut juga *risk mitigation* yaitu langkah yang dilakukan untuk mengurangi kemungkinan risiko yang bisa terjadi. Selain itu, bisa juga dilakukan dengan mengurangi dampak kerusakan yang dihasilkan oleh suatu risiko.
3. *Risk Transfer* adalah memindahkan risiko kepada pihak lain, biasanya dengan cara membuat suatu kontrak (asuransi) maupun *hedging*.
4. *Risk deferral* adalah dampak suatu risiko yang sifatnya tidak konstan. *Risk deferral* dilakukan dengan menunda aspek suatu permasalahan dalam perusahaan hingga probabilitas terjadinya risiko tersebut kecil.
5. *Risk retention*, walaupun beberapa risiko tertentu dapat dieliminasi namun tetap saja ada risiko yang harus tetap diterima sebagai bagian penting dari suatu kegiatan.

➤ **Manajemen Risiko Air Minum**

Menurut Bramanti (2007) lebih dari 25 tahun, industri air minum selalu menghadapi peningkatan keinginan konsumen, namun pada hakekatnya persyaratan regulasi lebih ketat, dimana selalu mencoba perubahan dramatis dari privatisasi, sektor globalisasi, kompetensi ditingkatkan, muncul teknologi dan kecenderungan kearah *self-sufficiency* keuangan. Perubahan ini menciptakan kesempatan dan risiko yang berlawanan dengan bermacam-macam kategori yang meliputi :

- a. *Financial Risk* adalah sebuah risiko yang timbul dari operasi keuangan dan manajemen air minum sebagai suatu perusahaan bisnis.
- b. *Commercial Risk* adalah semua yuridiksi, kegunaan air minum tidak lagi dilindungi sebagai monopoli umum sehingga tidak dibatasi dari ketidakstabilan segi keuangan atau kompetisi.

- c. *Environment Risk* yaitu kesalahan pada peralatan atau kesalahan manusia yang selalu menyebabkan dampak pada lingkungan seperti pencemaran limbah ke atmosfer, lingkungan, air atau tanah.
- d. *Public Health Risk* merupakan tugas utama pada sektor pengolahan air dimana untuk meyakinkan bahwa air yang disediakan aman dikonsumsi untuk mencegah terjadinya dampak yang berpengaruh pada kesehatan masyarakat.
- e. *Reputation Risk* yaitu sebuah risiko dimana walau ini tidak ada pengaruhnya dengan bahaya atau *hazard* namun sektor pengolahan air akan menjadi buruk apabila kualitas air yang diutamakan oleh konsumen.
- f. *Compliance Risk* adalah risiko yang berkaitan dengan surat regulasi atau keputusan dari pemerintah menjadi standar minimum dari kualitas, penyiapan bahan kimia yang digunakan, kesehatan orang yang tinggal di daerah sekeliling dan keselamatan operator.

Manajemen risiko air minum di *drive* oleh adanya persyaratan regulasi yang dalam dunia industri air minum dapat memunculkan risiko lain yang terkadang sulit untuk dikendalikan. Dalam hal ini, industri air minum mengalami dilema dalam mencegah terjadinya risiko.

#### **2.4 Proses Identifikasi Potensi Bahaya**

Identifikasi potensi bahaya dimaksudkan untuk mengenali semua bahaya yang mungkin akan terjadi di lingkungan kerja. Identifikasi potensi bahaya digunakan untuk menganalisa *potential hazards* dan mengevaluasi kondisi *existing* yang dapat menyebabkan ancaman, kerusakan, atau kerugian bagi manusia, *property* perusahaan dan juga lingkungan. Proses identifikasi juga dapat digunakan sebagai salah satu alat atau teknik untuk membantu proses pengambilan keputusan. Metode yang digunakan dalam proses pengidentifikasian bahaya juga dapat digunakan dalam proses pengidentifikasian risiko.

Berikut merupakan macam-macam metode proses identifikasi potensi bahaya (identifikasi risiko) yang direkomendasikan *U.S. Occupational Safety & Health Administration / OSHA, OSHA 3071 (2002)*, diantaranya :

**Tabel 2.4** Metode-metode Identifikasi Risiko

No.	Metode	Keterangan	Kekurangan
1.	<i>What-if Analysis</i>	Suatu metode ide terstruktur untuk menentukan hal-hal apa yang bisa salah dan menilai kemungkinan dan konsekuensi dari situasi yang terjadi.	Dalam prakteknya, ide terstruktur relative sulit untuk di realisasikan pada risiko operasional instalasi pengolahan air minum.
2.	<i>Checklist Analysis</i>	Salah satu cara yang paling sederhana yang lazim digunakan untuk mengurangi kesalahan atau bahkan kegagalan yang dapat ditimbulkan oleh keterbatasan memori dan perhatian manusia.	Membutuhkan daftar berbagai hal pokok yang sudah tertulis atau sudah jelas ada sedangkan kesalahan atau kegagalan, belum diketahui.
3.	<i>Safety Review</i>	Suatu penjelasan secara kualitatif tentang berbagai potensi permasalahan yang berkaitan dengan keselamatan.	Lebih tepat digunakan untuk prosedur keselamatan kerja.
4.	<i>Relative Ranking</i>	Metode analisis terstruktur yang mengarah ke penilaian numerik dari bahaya utama yang terkait dengan setiap bagian dari suatu proses.	Membutuhkan prosedur rinci akan tersedia, sehingga analisis ini tidak cocok untuk tindakan berdasarkan perilaku berbasis pengetahuan.
5.	<i>Preliminary Hazard Analysis</i>	Metode analisis risiko yang bersifat semi kuantitatif yang dilakukan untuk mengidentifikasi semua bahaya dan kejadian kecelakaan potensial yang dapat menyebabkan terjadinya <i>accident</i> .	Tidak cocok digunakan untuk menganalisis prosedur dengan pemecahan masalah tingkat tinggi dan pengambilan keputusan.
6.	<i>Hazard and Operability Studies (HAZOPS)</i>	Metode identifikasi risiko yang berfokus pada analisis terstruktur mengenai operasi yang berlangsung.	Tidak cocok digunakan untuk analisis risiko dengan data historis atau identifikasi dengan kegagalan di masa lalu.

**Tabel 2.4** Metode-metode Identifikasi Risiko (Lanjutan)

No.	Metode	Keterangan	Kekurangan
7.	<i>Failure Mode And Effect Analysis (FMEA)</i>	Metode identifikasi risiko dengan menganalisis berbagai pertimbangan kesalahan dari peralatan yang digunakan dan mengevaluasi dampak dari kesalahan tersebut.	Parameter penilaian <i>severity</i> /keparahan, <i>Occurance</i> /kejadian, dan <i>detection</i> /deteksi biasanya memiliki kepentingan yang sama padahal seharusnya ketiga parameter tersebut memiliki kepentingan yang berbeda.
8.	<i>Event Tree Analysis (ETA)</i>	Metode yang menunjukkan dampak yang mungkin terjadi dengan diawali oleh identifikasi pemicu kejadian dan proses dalam setiap tahapan yang menimbulkan terjadinya kecelakaan.	Perlu mengetahui pemicu dari kejadian dan fungsi sistem keselamatan sedangkan diketahui bahwa pemicu adalah yang dicari sehingga tidak cocok untuk digunakan dalam identifikasi risiko operasional.
9.	<i>Fault Tree Analysis (FTA)</i>	Suatu teknik yang dapat digunakan untuk memprediksi atau sebagai alat investigasi setelah terjadinya kecelakaan dengan melakukan analisis proses kejadian.	Membutuhkan usaha dan kerjasama yang tidak sedikit untuk menggambarkan proses bisnis dari kejadian yang telah terjadi.

Sumber : *U.S. Occupational Safety & Health Administration / OSHA, OSHA 3071 (2002)*

## 2.5 *Fault Tree Analysis*

*Fault Tree Analysis* menurut *Fault Tree Handbook* adalah suatu logika atau proses yang terstruktur yang dapat membantu mengidentifikasi penyebab terjadinya kegagalan suatu sistem sebelum kegagalan tersebut benar-benar terjadi. Definisi lain mengatakan bahwa *faul tree analysis* merupakan sebuah metodologi deduktif untuk menentukan penyebab potensial dari sebuah kecelakaan atau kegagalan sebuah sistem pada umumnya dan untuk mengestimasi probabilitas terjadinya sebuah kegagalan Lewis (1988).

Beberapa penelitian yang sudah menggunakan metode FTA pada proses produksi air diantaranya yaitu Bramanti (2007) menggunakan FTA untuk

menganalisis risiko penurunan kualitas air produksi, risiko terkontaminasi dengan partikel-partikel asing, dan risiko menurunnya kualitas air produksi diikuti terkontaminasi dengan partikel-partikel asing. Andreas et al., (2009) menggunakan FTA untuk menganalisis kegagalan kuantitas air yang disebabkan oleh kegagalan komponen dan kegagalan kualitas air. Stein et al., (2017) mengatasi masalah kinerja operasional *Water Treatment Plant* dengan FTA dan ETA.

Berdasarkan Roberts et al., (1981) dikatakan bahwa *fault tree* mempunyai banyak keuntungan dalam penggunaannya yakni :

- a. Mengidentifikasi kemungkinan permasalahan yang terjadi dalam sistem keandalan atau keselamatan pada saat mendesain
- b. Menilai sistem keandalan atau keselamatan selama kegiatan berlangsung
- c. Meningkatkan pemahaman dari sebuah sistem
- d. Mengidentifikasi akar dari penyebab terjadinya kegagalan

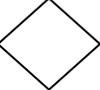
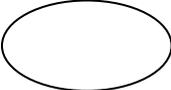
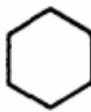
Dalam *Fault Tree Analysis* kejadian yang tidak diinginkan dijadikan sebagai kejadian puncak atau *top event*. Setelah itu, memecah sistem yang diamati untuk mengetahui penyebab utama atau kombinasi penyebab dari kejadian puncak. Sehingga, pada dasarnya langkah-langkah yang harus diambil dalam melakukan *Fault Tree Analysis* adalah sebagai berikut :

1. Menentukan apa yang menjadi *top event* atau peristiwa puncak
2. Memahami sistem yang diamati
3. Membangun struktur pohon dari *fault tree analysis*
4. Memvalidasi struktur pohon dari *fault tree analysis*
5. Mengevaluasi struktur pohon dari *fault tree analysis*
6. Mempelajari konsekuensinya
7. Mempertimbangkan alternatif dan merekomendasikan tindakan yang harus diambil

*Fault Tree* diagram terdiri dari *gates* dan *event* yang dihubungkan dengan garis *AND* dan *OR gates* yang merupakan dua *gates* paling sering digunakan dalam *fault tree*. Dimana untuk memahami dan mengenal *event* dan *gates* yang merupakan komponen dari *fault tree* dapat dilihat pada tabel 2.5.

Berdasarkan Lewis (1988) diketahui bahwa dalam mengevaluasi sebuah kesalahan dengan menggunakan *fault tree* ada 2 langkah. Yang pertama dengan sebuah ekspresi logika yang dibentuk untuk kejadian puncak atau *top event* dengan menggunakan kombinasi *basic event*. Langkah pertama ini, termasuk didalam analisa kualitatif. Kemudian langkah kedua dalam analisa ini adalah ekspresi yang ada digunakan untuk memberikan probabilitas *top event* dengan menggunakan probabilitas pada kejadian dasar atau *basic event*. Adapun langkah kedua ini termasuk dalam analisa kuantitatif.

**Tabel 2.5** Simbol-simbol dalam FTA

Nama Blok Peristiwa Utama	Simbol FTA	Deskripsi
<i>Basic Event</i>		Suatu dasar yang menyebabkan terjadinya kegagalan (peristiwa kegagalan)
<i>External Event (House Event)</i>		Suatu peristiwa yang secara normal diharapkan terjadi
<i>Undeveloped Event</i>		Suatu peristiwa yang mana tidak dikembangkan lebih lanjut. Ini merupakan suatu peristiwa dasar yang tidak memerlukan resolusi lebih lanjut.
<i>Conditioning Event</i>		Sebuah kondisi yang spesifik atau pembatas yang bisa diterapkan pada semua <i>gate</i> atau gerbang
<i>Intermediate Event</i>		Sebuah peristiwa kegagalan yang terjadi dikarenakan penyebab awal atau yang terdahulu bertindak melalui gerbang nalar ( <i>logic gate</i> )
Nama Gate	Simbol FTA	Deskripsi
<i>AND</i>		Keluaran kesalahan terjadi jika semua peristiwa masukan atau inputan terjadi
<i>OR</i>		Keluaran kesalahan terjadi jika paling sedikit satu peristiwa masukan atau inputan terjadi
<i>Inhibit</i>		Keluaran kesalahan terjadi jika semua peristiwa masukan atau inputan terjadi dan peristiwa tambahan bersyarat terjadi
<i>Priority AND</i>		Keluaran kesalahan terjadi jika semua peristiwa masukan atau inputan terjadi didalam suatu urutan yang spesifik
<i>NOR</i>		Keluaran kesalahan terjadi jika tepatnya satu peristiwa masukan atau inputan terjadi

**Tabel 2.5** Simbol-simbol dalam FTA (Lanjutan)

Nama Simbol <i>Transfer</i>	Simbol FTA	Deskripsi
<i>Transfer In</i>		Menandai bahwa pohon dikembangkan lebih lanjut di kejadian yang bersesuaian dengan perpindahan keluar
<i>Transfer Out</i>		Menandai bahwa pohon ini harus dipasang bersesuaian dengan perpindahan didalam

Sumber : Roberts et al., (1981) dalam Bramanti (2007)

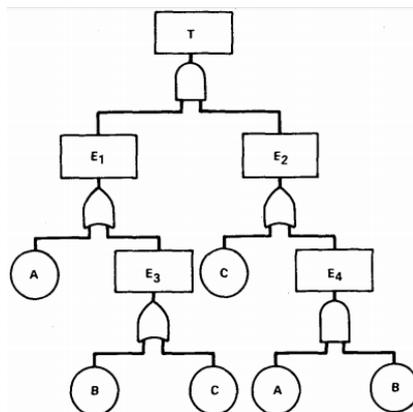
### 2.5.1 Analisa Kualitatif

Analisa kualitatif adalah sebuah analisa dalam *fault tree* yang menggunakan ekspresi logika dalam analisa kualitatif dikelompokkan kedalam 2 hal yaitu *fault tree* dengan komponen yang sederhana dan *fault tree* dengan komponen yang banyak.

- a. Analisa kualitatif untuk *fault tree* dengan komponen yang sederhana (*fault tree* dapat dilihat seperti di bawah ini pada gambar 2.1), maka metode kualitatif yang dapat diterapkan adalah :

1. *Top Down*

Untuk mengevaluasi *fault tree* dari atas ke bawah dimulai dengan kejadian puncak atau *top event* dan kemudian bergerak pada level ke bawah atau mencari penyebabnya hingga level yang paling bawah, dimana bisa menggunakan penggantian *gates* dengan simbol *AND* atau *OR*, sehingga ditemukan ekspresi seperti gambar 2.1 berikut ini :



**Gambar 2.1** *Fault Tree* dengan Komponen yang Sederhana

Pada *Top event* :

$$T = E1 \cap E2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Level Teratas :

$$E1 = A \cup E3 ; C \cup E4 \dots\dots\dots (2.4)$$

Level Tengah, substitusikan persamaan 2.3 dengan 2.4 menjadi :

$$T = (A \cup E3) \cap (C \cup E4) \dots\dots\dots (2.5)$$

Level Terbawah :

$$E3 = B \cup C ; E4 = A \cap B \dots\dots\dots (2.6)$$

Maka diperoleh ekspresi untuk *Top event* adalah :

$$T = (A \cup (B \cup C)) \cap (C \cup (A \cap B)) \dots\dots\dots (2.7)$$

## 2. *Bottom Up*

Sedangkan untuk mengevaluasi *fault tree* yang sama dengan metode *bottom up*, maka yang harus dilakukan adalah membuat ekspresi dari level yang paling bawah baru kemudian ke level *top event*.

Untuk level terbawah atau *bottom gates* :

$$E3 = B \cup C ; E4 = A \cap B \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan cara menarik ketas, maka diperoleh level tengah :

$$E1 = A \cup E3 ; E2 = C \cup E4 \dots\dots\dots (2.9)$$

Kemudian substitusi persamaan 2.8 dan 2.9 menjadi :

$$E1 = A \cup (B \cup C) \dots\dots\dots (2.10)$$

Dan

$$E2 = C \cup (A \cap B) \dots\dots\dots (2.11)$$

Kemudian pindah ke level teratas dari *fault tree*, dimana didapatkan persamaan :

$$T = E1 \cap E2 \dots\dots\dots (2.12)$$

Substitusi persamaan 2.10 dan 2.11, maka diperoleh ekspresi untuk T adalah :

$$T = A \cup (B \cup C) \cap C \cup (A \cap B) \dots\dots\dots (2.12)$$

## 3. *Logical Reduction*

Pada metode ini logika yang dibangun direduksi mengingat hampir kebanyakan *fault tree* mempunyai satu atau lebih kegagalan utama

yang terjadi pada lebih dari satu cabang. Dari gambar 2.1, diketahui bahwa dalam *top event*, salah satu ekspresinya dapat di asosiasi dimana  $A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C = C \cup (B \cup A)$ , sehingga diperoleh ekspresi baru untuk *Top Event* yaitu :

$$T = C \cup (B \cup A) \cap (C \cup (A \cap B)) \dots\dots\dots (2.13)$$

Kemudian diterapkan hukum distributif sehingga didapat :

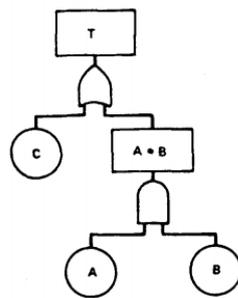
$$T = C \cup [(A \cup B) \cap (A \cap B)] \dots\dots\dots (2.14)$$

Dari hukum asosiatif bisa dieleminasi paranthesi pada bagian kanan, kemudian didapatkan  $A \cap B = B \cap A$ , sehingga :

$$T = C \cup [(A \cup B) \cap B \cap A] \dots\dots\dots (2.15)$$

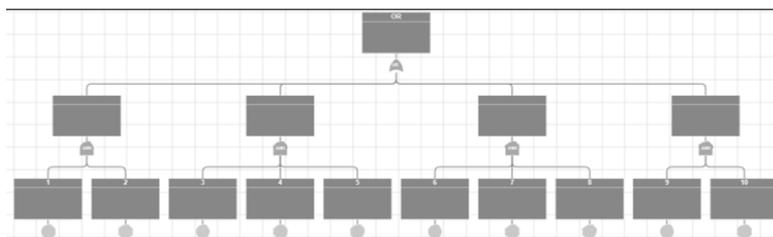
Sedangkan dari hukum absorpsi  $(A \cup B) \cap B$ , diperoleh :

$$T = C \cup (B \cap A) \dots\dots\dots (2.16)$$



**Gambar 2.2** *Fault Tree* setelah Diterapkan Metode *Logical Reduction*

- b. Analisa Kualitatif untuk *fault tree* dengan komponen yang banyak. *Fault Tree* dapat dilihat seperti pada gambar 2.3 dibawah ini :



**Gambar 2.3** *Fault Tree* dengan Komponen yang Banyak

Pada gambar 2.3 *fault tree* diagram diatas karena terlalu banyak komponen maka metode yang digunakan adalah *minimum cut sets* (MCSs). *Minimum cut sets* merupakan kombinasi terkecil dari kegagalan utama jika semua penyebab kegagalan terjadi. Oleh sebab itu, sebuah kombinasi minimum dari kegagalan utama cukup untuk menyebabkan

terjadinya *top event*. Jika salah satu kejadian dari kegagalan pada *minimum cut sets* tidak terjadi maka *top event* tidak terjadi.

### 2.5.2 Analisa Kuantitatif

Analisa kuantitatif untuk *fault tree* dengan komponen yang sederhana dapat menggunakan metode *Probability Relationship* untuk menyelesaikan *fault tree* pada gambar 2.1.

Untuk mengilustrasikan metode kuantitatif ini, maka digunakan gambar *fault tree* pada gambar 2.2, walaupun C berunion dengan B irisan A maka probabilitas yang terbentuk adalah :

$$P(T) = P(C) + P(B \cap A) - P(A \cap B \cap C) \dots\dots\dots(2.17)$$

Analisa kuantitatif untuk *fault tree* dengan komponen banyak, metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan *fault tree* dari gambar 2.3 adalah *evaluation of failure probability of the top event* dan *important analysis of the basic events*. Jika semua MCSs dan probabilitas pada kejadian ditemukan, maka probabilitas pada *top event* seperti dibawah ini :

$$\begin{aligned}
 P(T) &= P\left(\bigcup_{j=1}^n K_j\right) \\
 &= \sum_{i=1}^n P(K_i) - \sum_{i=1}^n P(K_i K_j) \\
 &\quad + \sum_{k=1}^n P(K_i \sum P(K_i K_j K_k)) + \dots + (-1)^{n-1} P(K_1 K_2 \dots K_n) P(K_j) \\
 &= \prod F_i(t) \dots\dots\dots(2.18)
 \end{aligned}$$

Dimana :

$K_i K_j K_k$  = Menjelaskan MCSs

N = Jumlah keseluruhan MCSs

$F_i(t)$  = Probabilitas dari kejadian dasar atau *basic event*

*Important analysis of the basic events* adalah sebuah sesi substansi pada analisa kuantitatif. Ini menjelaskan kontribusi *basic event* pada *top event*.

Jika probabilitas pada *top event* diekspresikan  $P(T) = g(F_1, F_2, \dots, F_n)$ , ukuran terpenting pada *basic event*  $X_i$  bisa dihitung dengan persamaan :

$$I_i^{CR} = \frac{\partial g[F(t)]}{\partial F_i(t)} \frac{F_i(t)}{g[F_i(t)]} \dots\dots\dots (2.19)$$

**2.6 Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)**

Metode *Decision Making and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) adalah alat penataan masalah yang digunakan untuk menilai hubungan sebab dan akibat antar kriteria masalah. Melalui pendekatan ini, latar belakang pengetahuan masing-masing pemangku kepentingan atau ahli dimasukkan dalam model. Metode ini, dikembangkan oleh *Battelle Memorial Institute* melalui pusat penelitian Jenewa untuk mengidentifikasi hubungan sebab akibat diantara beberapa faktor dari sistem kompleks Gabus, A dan Fontela (1972); Wu et al., (2007) dalam Bacudio et al., (2016). Senada yang dilakukan oleh Nie et al., (2018) mengidentifikasi keterkaitan yang kompleks antar kriteria untuk membantu peningkatan *Water Security Sustainability*.

Pendekatan pemodelan ini berfungsi sebagai teknik untuk memvisualisasikan hubungan kausal antara kriteria dengan penggunaan *digraph* atau matriks Wu et al., (2017). Ini dapat mengidentifikasi hubungan sebab dan akibat kriteria ketika mengevaluasi kasus praktis Gitinavard et al., (2017). Nilai garing biasanya digunakan untuk mewakili hubungan antar elemen Chen (2016). Metode DEMATEL dapat memenuhi tujuan mengidentifikasi kausalitas intrinsik kriteria Pamucar et al., (2017). Menurut kausalitas intrinsik kriteria, strategi spesifik dapat dirumuskan untuk mengendalikan faktor-faktor yang berpengaruh Lin et al., (2018). Pun aplikasi dari metode ini sudah diterapkan diberbagai industri. Karya terbaru ditinjau dalam Lee et al., (2011) menerapkan DEMATEL dalam menganalisis faktor-faktor keputusan untuk investasi ekuitas, kemudian untuk mempertimbangkan perspektif multistakeholder dalam menerapkan peraturan industri Dou, Y dan Sarkis, J., (2013), Gigovic et al., (2017); Pamucar et al., (2017) menyelidiki model DEMATEL-ANP-MAIRCA hibrida berdasarkan angka kasar interval untuk masalah kelompok MCDM. Metode DEMATEL-ANP oleh Gigovic et al., (2017) menggunakan metode tersebut untuk menentukan bobot kriteria evaluasi untuk pemilihan lokasi ladang angin.

Adapun langkah-langkah atau algoritma dalam menggunakan metode DEMATEL dijelaskan dalam Ranjbar et al., (2014) sebagai berikut :

1. Menentukan intensitas hubungan relasi antar faktor (skala evaluasi)

Pada tahap ini, dilakukan penilaian terhadap hubungan relasi antar faktor untuk menentukan dampak dan efektivitas relasi. Ukuran skala penilaian berbeda-beda tergantung maksud dan tujuan peneliti. Semakin besar skala penilaian semakin besar probabilitas dalam *expert* menilai kuisisioner DEMATEL. Skala penilaian yang dicontohkan dalam Ranjbar et al., (2014) adalah 0-4, nilai 0 artinya tidak memiliki hubungan relasi (*no relation and effect*), 1 memiliki hubungan relasi yang rendah (*low effect*), 2 memiliki hubungan relasi yang sedang (*medium effect*), 3 memiliki hubungan relasi yang tinggi (*high effect*), dan 4 memiliki hubungan relasi yang sangat tinggi (*very high effect*).

2. Membuat matriks hubungan langsung (*direct-relation matrix*)

Dengan penilaian dari *expert* mengenai hubungan dan dampak kemudian dibuat daftar ke dalam matriks hubungan langsung. Pada tahap ini apabila *expert* yang melakukan penilaian lebih dari satu maka dicari rata-rata nilai antar *expert*.

$X_{ij}$  merupakan dampak dari akibat yang ditimbulkan  $i$  kepada  $j$  dalam matriks. Sedangkan garis diagonal utama matriks ditetapkan bernilai 0.

$$X = \begin{bmatrix} 0 & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & 0 & \dots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}$$

3. Melakukan normalisasi *direct relation matrix*

Matriks hubungan langsung  $X$ , kemudian dilakukan normalisasi menjadi matriks  $Z$  dengan persamaan (2.20) dan (2.21). Matriks diagonal utama tetap bernilai 0 dan jumlah masing-masing baris dan kolom maksimum adalah bernilai 1.

$$Z = k X \dots \dots \dots (2.20)$$

$$k = \min \left[ \frac{1}{\max i \sum_{j=1}^n |X_{ij}|}, \frac{1}{\max j \sum_{i=1}^n |X_{ij}|} \right], j = 1, 2, \dots, \text{sampai } n \dots \dots \dots (2.21)$$

4. *Direct and indirect relation matrix*

Matriks Z yang telah dinormalisasi, kemudian dibangun hubungan matriks langsung dan tidak langsung (T) dengan persamaan 2.22.

$$T = Z (I-X)^{-1}, I = \text{matriks identitas} \dots\dots\dots (2.22)$$

5. Menghitung total baris dan kolom

Setelah matriks T dibuat, kemudian menghitung total baris ( $D_i$ ) dan total kolom ( $R_j$ ) dengan persamaan (2.23) dan (2.24).

$$D_i = [\sum_{j=1}^n T_{ij}] (i = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$R_j = [\sum_{i=1}^n T_{ij}] (j = 1, 2, \dots, n) \dots\dots\dots (2.24)$$

6. Membangun peta *impact-digraph*

Menurut W, Indah (2011) berdasarkan matriks hubungan secara total, setiap nilai memberikan informasi seberapa besar pengaruh kelompok kriteria I terhadap kelompok kriteria j. Jika semua nilai tersebut dikonversikan ke peta *impact-digraph* maka strukturnya akan cenderung kompleks untuk mendapatkan informasi dalam pembuatan keputusan. Oleh sebab itu, dibutuhkan nilai ambang batas untuk tingkat pengaruh. Hanya beberapa kriteria yang mempunyai lebih besar dari nilai ambang batas pada matriks T, dapat dipilih dan dikonversikan ke dalam peta *impact-digraph*. Nilai ambang batas ditentukan oleh pengambil keputusan atau berasal dari para ahli dengan melakukan diskusi seperti FGD. Peta *impact-digraph* dapat diperoleh dengan memetakan data set dari (D+R, D-R) sehingga dapat memberikan informasi untuk membuat keputusan.

DEMATEL mempunyai perbedaan dengan metode pemodelan yang lain dimana DEMATEL relatif lebih cepat dan lebih mudah dalam memperoleh sumber-sumber dari pengetahuan. Dengan DEMATEL tidak sulit mendapatkan banyak sumber pengetahuan yang diinginkan yang berasal dari beberapa ahli. Sumber pengetahuan yang diperoleh, dengan mudah dapat digabungkan menjadi satu DEMATEL. Tidak ada batasan pada jumlah ahli atau jumlah konsep pada DEMATEL. Menurut Ozesmi and L. Ozesmi (2004) terdapat perbedaan antara metode serupa lainnya, yaitu :

**Tabel 2.6** Metode-metode Penilaian Hubungan Sebab dan Akibat antar Kriteria

No.	Metode	Keterangan	Kekurangan
1.	<i>Structural Equation Modelling</i> (SEM)	Model sebab akibat ( <i>causal modeling</i> ), atau disebut juga analisis jalur ( <i>path analysis</i> ), yang menyusun hipotesa hubungan-hubungan sebab akibat ( <i>causal relationships</i> ) diantara variabel - variabel dan menguji model-model sebab akibat ( <i>causal models</i> ) dengan menggunakan sistem persamaan linier.	Metode yang bersifat nonkonvergensi dalam penentuan solusi dan tidak dapat memperkirakan parameter jika data yang ada tidak cukup
2.	<i>Multiattribute Decision Theory</i> seperti <i>Anaytical Network Process</i> (ANP) dan <i>Analithical Hierarki Process</i> (AHP)	ANP merupakan sebuah metode untuk melakukan analisis berdasarkan struktur dan rangkaian kriteria. ANP merupakan pengembangan dari metode AHP, dimana AHP adalah metode untuk memecahkan suatu situasi yang kompleks tidak terstruktur kedalam beberapa komponen dalam susunan yang hirarki, dengan memberi nilai subjektif tentang pentingnya setiap variabel secara relatif, dan menetapkan variabel mana yang memiliki prioritas paling tinggi guna mempengaruhi hasil pada situasi tersebut.	<i>Multiattribute decision theory</i> banyak digunakan untuk menggolongkan alternative dengan jumlah terbatas dengan karakteristik <i>multiple</i> . Dengan teori ini atribut alternative perlu dipilih begitu juga dengan faktor-faktor dan bobotnya.
3.	Sistem Dinamis	Model yang memiliki keterkaitan secara dinamis antar variabelnya yang berpengaruh dimana sistem yang variabelnya dapat terus berubah dikarenakan perubahan <i>input</i> dan interaksi antar elemen pada sistem.	Menggunakan differensial atau perbedaan persamaan untuk menggambarkan respon sistem untuk faktor eksternal dan membutuhkan data yang bersifat empirik.
4.	<i>Interpretative Structural Modeling</i> (ISM)	Alat ( <i>tool</i> ) yang dapat menganalisa dan membantu untuk mengambil keputusan terhadap pemahaman atau ide dalam situasi yang rumit dengan cara mengelompokkan dan membuat <i>link</i> yang tertuang dalam sebuah peta.	Jumlah elemen atau variabel dibatasi yaitu kurang lebih 10-15 yang mampu ditangani secara manual.

**Tabel 2.6** Metode-metode Penilaian Hubungan Sebab dan Akibat antar Kriteria  
(Lanjutan)

No.	Metode	Keterangan	Kekurangan
5.	<i>Fuzzy Cognitive Maps</i> (FCM)	Suatu metode yang digunakan untuk memodelkan hubungan yang bersifat kompleks diantara variabel-variabel yang ada.	Metode ini hanya cocok digunakan untuk kasus yang kompleks.
6.	<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>	Suatu metode untuk menilai hubungan sebab dan akibat antar kriteria masalah.	Metode ini digunakan untuk kasus praktis.

Sumber : Ozesmi and L. Ozesmi (2004)

## 2.7 Posisi Penelitian

Pada penelitian ini membahas tentang model *Fault Tree Analysis* (FTA) dan DEMATEL untuk merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi air PDAM. Untuk itu dibutuhkan penelitian terdahulu agar penelitian dapat terarah dan dapat terstruktur dengan baik. Penelitian terdahulu ini akan ditinjau dari dua sisi, yaitu penelitian terkait dengan analisis risiko yang menghasilkan strategi mitigasi risiko pada proses produksi air PDAM menggunakan FTA dan penelitian yang terkait dengan analisis risiko pada proses produksi air PDAM menggunakan DEMATEL.

Adapun tinjauan penelitian-penelitian terdahulu yaitu Bramanti (2007) menggunakan metode *Benchmarking* dan *Fault Tree Analysis* (FTA) untuk mengidentifikasi risiko pada sistem penjernihan air minum dan jaringan distribusi PDAM seperti teknik pengolahan / penjernihan, kondisi fisik pipa, kualitas air baku, metode pemeliharaan dan sistem distribusinya. Penelitian ini mempelajari dampak risiko penurunan kualitas air produksi dan dampak risiko terkontaminasinya air terhadap konsumen PDAM menggunakan proses *benchmarking* dan FTA. Penelitian ini membuktikan bahwa air hasil produksi PDAM tidak aman untuk dikonsumsi bagi kesehatan masyarakat (*public health*). Kemudian yang menjadi kekurangan dalam penelitian ini yaitu analisis risiko yang dihasilkan berupa strategi mitigasi risiko berdasarkan kriteria SDM dan

teknis namun belum mempertimbangkan proses bisnis yang memiliki faktor-faktor risiko yang saling berhubungan.

Norberg et al., (2009) menggunakan metode FTA untuk menganalisis risiko kegagalan kuantitas air disebabkan kegagalan komponen (kerusakan pipa) dan kegagalan kualitas air (tidak terdeteksinya kualitas air baku yang tidak dapat diterima & terdeteksi kualitas air baku yang tidak dapat diterima tetapi tidak mungkin menghentikan pengiriman) ke konsumen dengan mempertimbangkan keseluruhan sistem pasokan, dari sumber hingga ke keran. Dengan penerapan FTA dan evaluasi *Customer Minutes Lost* (CML) pada sistem air minum, keuntungan yang diperoleh adalah dapat memperkirakan tidak hanya probabilitas kegagalan tetapi juga tingkat kegagalan rata-rata dan *downtime* rata-rata sistem. Pada penelitian ini analisis risiko yang dihasilkan berupa strategi mitigasi risiko hanya berdasarkan kriteria teknis saja dan belum mempertimbangkan proses bisnis yang memiliki faktor-faktor risiko yang saling berhubungan.

Stein et al., (2017) mengintegrasikan metode FTA dan *Event Tree Analysis* (ETA) dengan konsep penelitiannya menggunakan *Decision Support Sistem* (DSS) yang terdiri dari sistem berbasis data dan pengetahuan dikembangkan dalam penelitian ini, dengan menggunakan FTA dan ETA untuk mengatasi masalah kinerja operasional *Water Treatment Plant* (WTP). Dengan adanya pengaplikasian DSS pada operasi sistem pengolahan air (WTP) kemudahan yang diperoleh yaitu tidak ada lagi skenario yang terjadi seperti kurangnya pengetahuan berdasarkan pengalaman, hilangnya pengetahuan ketika operator berpengalaman pergi, dan kurangnya waktu untuk memperoleh pengetahuan dalam kondisi operasional tidak normal (seperti variasi kualitas sumber dan residu klorin kurang dari persyaratan peraturan), selain itu operasional WTP menjadi sistematis begitu pula dengan pemeliharaan WTP. Adapun kekurangan dari penelitian ini yaitu Analisis risiko yang dihasilkan berupa strategi mitigasi risiko hanya berdasarkan kriteria teknis saja. Kemudian belum mempertimbangkan proses bisnis yang memiliki faktor-faktor risiko yang saling berhubungan.

Nie et al., (2018) menggunakan metode *Best Worst Method* (BWM), *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), dan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) dengan

menjadikan *Water Security Sustainability* (WSS) sebagai risiko operasional keamanan air yang dalam praktik diukur dengan data pengamatan (rasio dan linguistik kualitatif) yang notabennya sulit untuk diukur tetapi perlu diatasi agar tidak menimbulkan risiko dengan mengadopsi teknik pengambilan keputusan multi-kriteria (BWM, DEMATEL, dan TOPSIS). Penelitian ini mendapati bahwa WSS yang dijadikan sebagai risiko operasional dapat terintegrasi dengan dimensi keberlanjutan yang relevan. Dengan tiga teknik MCDM menghasilkan hasil yang andal dan dapat menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh. Namun pengambilan keputusan dengan mengevaluasi keberlanjutan keamanan air masih membutuhkan penelitian lebih lanjut agar dapat berkembang di masa depan.

1. Penelitian ini (2019) menggunakan metode FTA untuk mengidentifikasi risiko dengan bantuan operator PDAM sehingga didapatkan daftar risiko yang masih bersifat independen kemudian dibuat *fault tree* (diagram sebab akibat/kausalitas dari atas kebawah) kemudian menggunakan DEMATEL untuk mencari faktor-faktor risiko yang saling berhubungan (kausalitas) dari kiri ke kanan. Dengan tujuan penelitian yang ingin diperoleh yaitu pertama mengembangkan model FTA yang diintegrasikan dengan DEMATEL, kedua adalah Mengimplementasikan model FTA dan DEMATEL dalam melakukan penilaian risiko di PDAM, terakhir adalah merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi di PDAM.

Posisi penelitian akan ditunjukkan pada tabel 2.7 berikut ini :

**Tabel 2.7** Posisi Penelitian

Peneliti	Tahun	Strategi Mitigasi						Metode					
		1	2	3	4	5	6	Bench Mar king	F T A	E T A	B W M	DEMA TEL	TOP SIS
Geodita Woro Bramanti	2007	√	√					√	√				
Andreas Lindhe, Lars Rose´n, Tommy Norberg, dan Olof B.	2009		√						√				

**Tabel 2.7** Posisi Penelitian (Lanjutan)

Peneliti	Tahun	Strategi Mitigasi						Metode						
		1	2	3	4	5	6	Bench Mar king	F T A	E T A	B W M	DEMA TEL	TOP SIS	
Dan Stein, Gopal Achari, Cooper H. Langford, Mohammed H. I. Dore, Husnain Haider, Kejiang Zhang <sup>1</sup> dan Rehan Sadiq	2017		√						√	√				
Ru-xin Nie, Zhang-peng Tian, Jian-qiang Wang, Hong-yu Zhang, dan Tie-li Wang	2018			√	√	√	√				√	√	√	
Widya Spalanzani	2019	√	√						√			√		

Keterangan : 1 = SDM, 2 = Teknis, 3 = Bahan Baku Air, 4 = Sosial, 5 = Ekonomi, 6 = Lingkungan

Bramanti (2007); Norberg et al., (2009); Stein et al., (2017) sama-sama membahas penelitian tentang analisis risiko pada instalasi pengolahan air untuk menghasilkan strategi mitigasi risiko dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA). Namun, dari penelitian-penelitian sebelumnya, dari kasus Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) ini ada yang belum dipertimbangkan yaitu proses bisnis di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) yang memiliki faktor-faktor risiko yang saling berpengaruh seperti kualitas sumber air memburuk memberikan pengaruh kepada kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar dan bisa juga kerusakan komponen mekanis memberikan pengaruh kepada kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar, kemudian

kesalahan operasional dapat mempengaruhi terjadinya kerusakan komponen mekanis, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar, dari sisi lain ternyata kegagalan kontrol kualitas menerima pengaruh dari adanya kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, bahan yang tidak benar bahkan kegagalan kontrol kualitas pun turut menjadi penyebab timbulnya risiko yang membuatnya saling berkaitan satu dengan yang lain. Adanya gambaran tersebut menyebabkan pendekatan yang diajukan oleh peneliti sebelumnya tidak bisa cocok karena tidak mempertimbangkan hubungan keterkaitan antar risiko. Sedangkan Stein et al., (2017) mengemukakan bahwa pada prakteknya faktor-faktor risiko yang ada saling memiliki hubungan keterkaitan satu dengan yang lain.

Penelitian yang membahas tentang hubungan keterkaitan antar faktor-faktor risiko baru dibahas oleh satu peneliti dengan mempertimbangkan keberlanjutan keamanan air. Nie et al., (2018) telah melakukan suatu penelitian untuk mengidentifikasi, menilai, dan menyelidiki berbagai teknik *Multi Criteria Decision Making* (MCDM) yakni *Best Worst Method* (BWM), *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS), dan metode *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) untuk menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh pada *Water Security Sustainability* (WSS) dengan mencari keterkaitan antar faktor. Pada penelitian tersebut, dijelaskan bahwa teknik MCDM yang digunakan dapat menghasilkan identifikasi dimensi ukuran, menormalkan dengan benar dan mewakili informasi serta membangun kerangka kerja keputusan yang tepat sehingga dapat mendukung keberlanjutan keamanan air (WSS) di wilayah industri dengan memperhitungkan hubungan dependensinya dengan keluaran berupa model *causal diagram* sehingga dapat memberi gambaran secara mendasar tentang hubungan kontekstual dan kekuatan hubungan antar faktor.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Bramanti (2007); Norberg et al., (2009); Stein et al., (2017) yang sudah menggunakan pendekatan FTA sebagai alat analisis untuk mengidentifikasi risiko dengan mencari hingga ke akar masalah, namun metode FTA ini memiliki kelemahan yaitu belum mempertimbangkan proses bisnis yang memiliki faktor-faktor risiko yang saling

berhubungan. Dengan kelemahan yang dimiliki oleh FTA tersebut, DEMATEL dapat melengkapi dan menutupinya. Senada yang dilakukan oleh Nie et al., (2018) dalam penelitiannya telah mengintegrasikan metode BWM, TOPSIS, dan DEMATEL yang hasilnya sudah mempertimbangkan hubungan keterkaitan antar faktor. Disini ditemukan *research gap*, bahwa belum adanya penelitian tentang model baru yaitu model FTA dan DEMATEL untuk merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi air PDAM.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai *flowchart* dari metodologi penelitian beserta penjabaran dari *flowchart* tersebut.

#### **3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian**

Berikut ini merupakan *flowchart* metodologi penelitian yang akan dilaksanakan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.

#### **3.2 Penjabaran *Flowchart* Metodologi Penelitian**

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai *flowchart* metodologi pelaksanaan penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian. Adapun tahapan-tahapan yang dijelaskan adalah tahap identifikasi awal dan penetapan tujuan penelitian, tahap pengumpulan dan pengolahan data, serta tahap analisa, penarikan kesimpulan dan saran.

##### **3.2.1 Tahap Identifikasi Awal dan Penetapan Tujuan Penelitian**

Tahap ini dibagi dalam tiga tahapan yakni tahap studi lapangan dan identifikasi masalah, kedua adalah tahap pemahaman permasalahan yang terjadi di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA), pemahaman teori dan konsep FTA dan DEMATEL, serta tahap terakhir yaitu penetapan tujuan penelitian. Adapun langkah-langkahnya yaitu sebagai berikut :

- Studi Lapangan dan Identifikasi masalah

Tahap awal yang dilakukan oleh peneliti yaitu studi lapangan langsung, dilakukan dengan mengunjungi Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) di Baadia. Berdasarkan hasil wawancara dengan Seksi Hubungan Langganan terkait pengaduan PDAM kota Baubau 2018 dijumpai adanya keluhan dari para pelanggan air PDAM di kota Baubau yang mengeluhkan air PDAM keruh, kemudian peneliti mencari tahu bagaimana proses produksi air minum

yang terjadi di lapangan. Diadakannya studi lapangan akan didapatkan pemahaman sebenarnya tanpa harus menduga-duga.

Identifikasi masalah disini oleh peneliti melibatkan seluruh operator produksi IPA. Identifikasi disini bertujuan untuk mencari tahu proses bisnis untuk mengolah air bersih yang ada mulai dari proses intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, desinfeksi, dan reservoir.

- Tahapan Pemahaman Permasalahan di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA), Teori dan Konsep FTA dan DEMATEL

Setelah mengetahui proses bisnis untuk mengolah air bersih, kemudian didapatkan masalah-masalah produksi IPA terletak pada segi operasionalnya seperti tidak ada standar pembubuhan zat kimia (tawas dan kaporit) pada proses koagulasi dan desinfeksi air yang diolah, kerusakan mesin panel, mixer, meteran dan kegagalan pengendalian laju aliran, inspeksi filter yang tidak memadai, kerusakan pompa dan lain sebagainya menjadi fokus dalam penelitian ini.

Setelah memahami permasalahan yang ada, peneliti mulai memahami teori dan konsep yang bisa memberikan solusi untuk permasalahan operasional yang dapat menimbulkan risiko operasional pada proses produksi IPA. Dengan mempelajari penelitian-penelitian yang serupa melalui media perpustakaan dengan mencari buku-buku, tugas akhir, dan tesis serta jurnal-jurnal internasional yang diperoleh melalui website online didapatkan teori dan konsep *Fault Tree Analysis (FTA)* dan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)* yang cocok digunakan untuk penelitian ini.

- Penetapan Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini yaitu :

1. Melakukan pengembangan model FTA yang diintegrasikan dengan DEMATEL sehingga model mampu mengatasi faktor-faktor risiko operasional yang saling berhubungan.
2. Mengimplementasikan model FTA dan DEMATEL dalam melakukan penilaian risiko di PDAM.
3. Merumuskan strategi mitigasi risiko pada proses produksi di PDAM.

### 3.2.2 Tahap Pengumpulan, Pengolahan, dan Analisa Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan, pengolahan, dan analisa data.

Untuk data-data yang diperlukan untuk menunjang penelitian yaitu :

- Data mengenai pelanggan Instalasi Pengolahan Air Minum
- Data mengenai proses produksi dan masalah yang terjadi di Instalasi Pengolahan Air Minum PDAM.
- Data-data kondisi fisik dan pompa dari IPA PDAM

Pengumpulan data dilakukan dengan cara FGD (*Focus group discussion*) kepada seluruh operator IPA PDAM agar hasil yang didapatkan nanti merupakan hasil kesepakatan bersama. Kemudian ditunjang dengan data-data konkrit mengenai proses produksi instalasi pengolahan air minum yang diperoleh dari data historis perusahaan PDAM. Adapun seluruh operator IPA PDAM di Baadia yaitu kepala seksi produksi 1 orang dan operator produksi 4 orang. Operator-operator tersebut sudah bekerja selama 4 sampai 10 tahun di instalasi pengolahan air dan oleh peneliti dianggap sudah berpengalaman/kompeten di bidang tersebut (ahli).

Adapun tahapan-tahapan pengolahan dan analisa data dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. *Establish the Context*

Konteks atau yang menjadi fokus dalam penelitian ini yaitu risiko operasional pada proses produksi mulai dari intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi sampai desinfeksi.

2. Identifikasi Risiko

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan faktor-faktor risiko (*risk event*) dengan melakukan FGD untuk mendapatkan faktor-faktor risiko sekaligus frekuensi terjadinya *risk event* dari 5 operator secara sepakat. Identifikasi risiko pada penelitian ini menggunakan model *Fault Tree Analysis* (FTA) sehingga dapat diketahui dengan jelas penyebab utama atau akar permasalahannya secara terstruktur.

### 3. Analisa risiko

Analisa risiko dilakukan dengan menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan melalui dua tahap yakni :

- Tahap pertama adalah analisa kualitatif dengan pembuatan *fault tree diagram*

Faktor-faktor risiko yang muncul yaitu :

**Tabel 3.1** Faktor-faktor Risiko

<b>Risiko Operasional Stein et al., (2017)</b>	<b>Faktor-faktor Risiko FGD IPA (2018)</b>
Kualitas sumber air memburuk	Kerusakan pompa
Kerusakan komponen mekanis	Kerusakan meteran kekeruhan
	Kerusakan mixer
	Kerusakan meteran bahan kimia
	Kerusakan flow meter
	Masalah listrik
	Tidak ada kontrol laju filter
	Saluran bawah diblok
	Pengontrol dosis tidak berfungsi
Kesalahan operasional	Kerusakan pompa dosing
	Peningkatan laju aliran
	Peningkatan kekeruhan
	Ukuran flok yang tidak tepat
	Flok tidak dihapus secara efisien
	Peningkatan laju filtrasi
	Pemecahan kekeruhan saat difilter
	Inspeksi filter tidak memadai
	Filter kembali digunakan tanpa <i>backwashing</i>
	Dosis desinfektan tidak optimum
	Tidak melaporkan residu dan lokasi
	Pemantauan residu klor/kaporit yang tidak memadai
Kegagalan kontrol kualitas	Alat pendukung yang tidak ada
Bahan yang tidak benar	Bahan kimia habis
	Bola lumpur
	Filter tidak bersih
	Kehilangan media (pasir dan kerikil)

Sumber : Stein et al., (2017) ; FGD IPA (2018)

Faktor-faktor risiko tersebut dianalisa dengan menggunakan metode *fault tree* dengan membuat *event tree*, sehingga dapat diketahui dengan pasti penyebab terjadinya risiko tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2.

- Validasi

*Fault Tree Diagram* yang telah dibuat oleh peneliti kemudian di validasi oleh 5 operator ahli IPA untuk mengetahui apakah model *Fault Tree* yang telah dirancang benar-benar sesuai dengan kejadian nyata dan apakah faktor-faktor risiko tersebut ada dan diterima atau tidak.

- Tahap kedua adalah analisa kuantitatif

Setelah diketahui dengan pasti penyebab risiko tersebut, selanjutnya akan ditentukan nilai *consequences* dan *likelihood*. Berikut ini adalah uraian dari penentuan *consequences* dan *likelihood* tersebut.

- a. *Consequences*

Sesuai dengan klasifikasi risiko yang telah ditetapkan sebelumnya dan hasil FGD dengan 5 operator ahli IPA, maka *consequences* akan ditentukan berdasarkan pengalaman operator IPA tentang masalah-masalah operasional yang pernah terjadi di IPA dan data historis yang diperoleh dari biaya kerugian tentang kerusakan mesin, meteran, mixer dan lain sebagainya yang dialami pada tahun 2018 di IPA.

- b. *Likelihood*

Penentuan *likelihood* diperoleh melalui FGD dengan 5 operator ahli IPA dapat diketahui dari frekuensi kegagalan operasional yang terjadi tahun 2018 dan data historis tahun 2018 tentang frekuensi kerusakan mesin. *Likelihood* dilakukan untuk mengestimasi kemungkinan risiko yang akan muncul selanjutnya.

#### 4. Perhitungan Nilai Risiko

Hasil dari *consequences* dan *likelihood* yang disetujui oleh 5 operator ahli IPA tersebut, kemudian dihitung untuk mengetahui dan mendapatkan nilai dari risikonya dengan perhitungan *likelihood* dikalikan dengan *consequences*. Kemudian dilakukan pemetaan risiko operasional untuk mengetahui kejadian risiko pada level risiko berapa yang dihadapi perusahaan. Analisa menggunakan FTA ini hanya akan menghasilkan sebab akibat kausalitas dari atas kebawah. Selanjutnya akan dilakukan analisa dengan DEMATEL untuk mengetahui sebab akibat dari kiri kekanan.

## 5. Analisis Faktor-faktor Risiko dengan DEMATEL

Berdasarkan hasil analisa operator-operator IPA menyatakan bahwa kondisi *real* dilapangan menyatakan bahwa terdapat hubungan keterkaitan risiko operasional, oleh karena itu peneliti ingin mencari tahu hubungan diagram *fault tree* dari kiri kekanan menggunakan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) dengan pendekatan FGD. Karena dengan FTA saja hanya akan dapat mengetahui sebab akibat kausalitas dari atas kebawah dan untuk mengetahui sebab akibat kausalitas dari kiri kekanan hanya bisa digunakan dengan metode DEMATEL.

## 6. Evaluasi Risiko

Setelah menganalisis faktor-faktor risiko dengan DEMATEL, kemudian akan dilakukan evaluasi risiko dengan peta *impact-digraph* untuk mengetahui ada atau tidaknya hubungan antar risiko operasional. Ini dilakukan agar dapat diberikan gambaran secara mendasar tentang hubungan kontekstual dan kekuatan hubungan antar faktor.

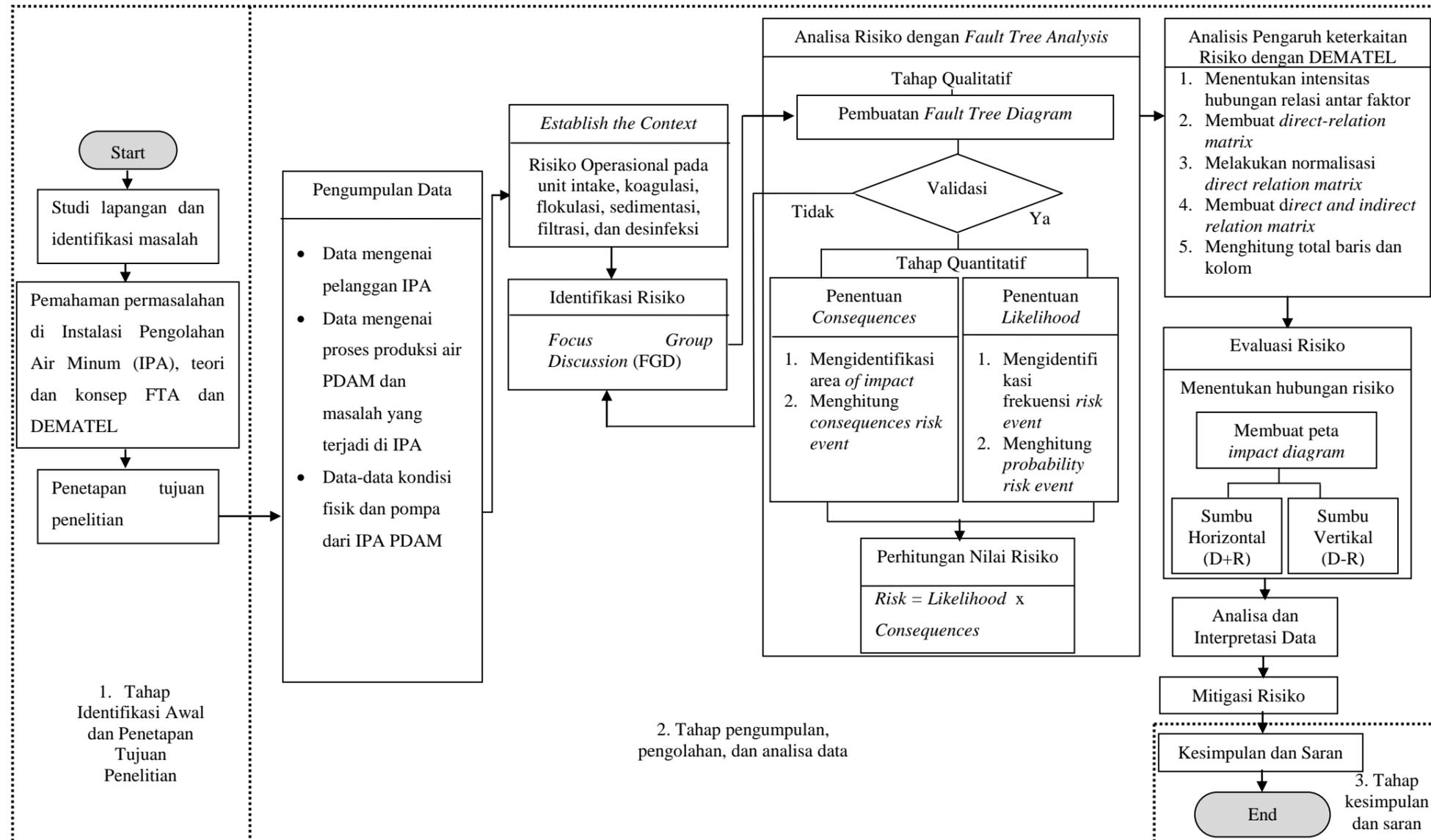
## 7. Strategi Mitigasi Risiko

Dalam strategi mitigasi risiko diberikan rancangan usulan mengenai tindakan penanganan apa saja untuk mengurangi risiko operasional yang terjadi pada proses produksi IPA. Dalam hal ini rancangan usulan yang diberikan yaitu mitigasi SDM dan teknis yang dipakai untuk instalasi pengolahan air minum.

### 3.2.3 Tahap Kesimpulan dan Saran

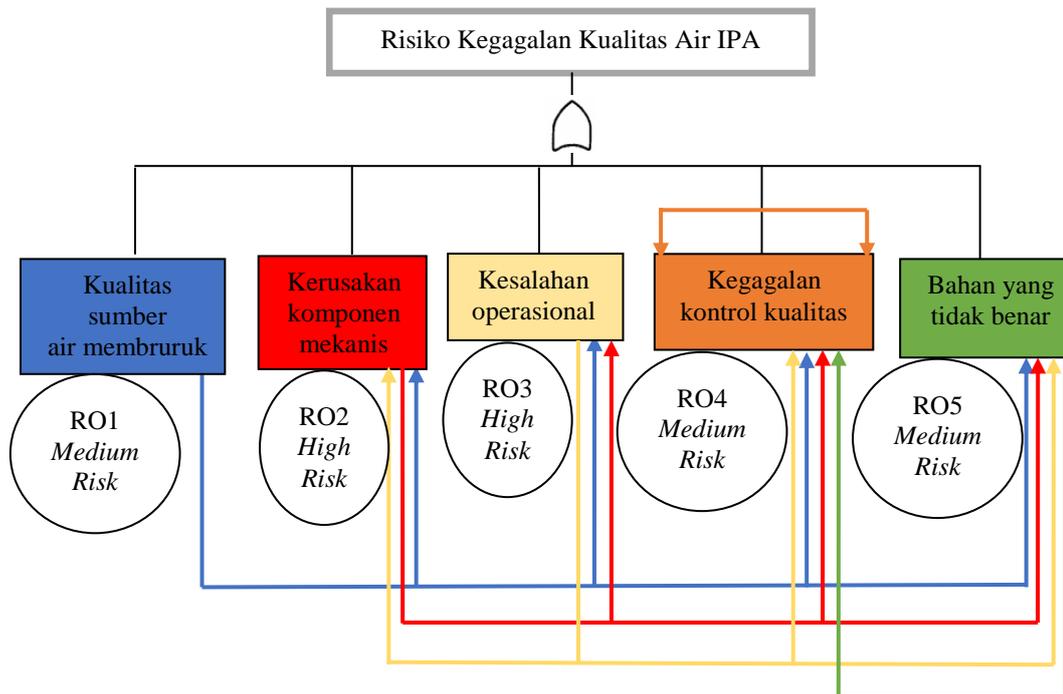
Tahapan terakhir adalah penarikan kesimpulan dimana pada tahap ini merupakan jawaban dari permasalahan dan tujuan dari penelitian yang dilakukan. Kesimpulan juga berdasarkan hasil analisis dan interpretasi hasil pengolahan data yang sudah dilakukan. Selanjutnya, diberikan rekomendasi yang diharapkan mengenai pengembangan dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya.

Adapun model konsep hubungan risiko operasional menggunakan metode FTA dan DEMATEL dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**Gambar 3.2** Model Hubungan Risiko Operasional FTA dan DEMATEL

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 4

### PENGUMPULAN, PENGOLAHAN, DAN ANALISA DATA

Pada bab 4 akan dijelaskan dan diuraikan data-data yang telah dikumpulkan berkaitan dengan masalah-masalah yang terjadi pada proses produksi air PDAM. Selanjutnya akan dilakukan pengolahan sekaligus analisa data menggunakan FTA dan DEMATEL. Kemudian diberikan usulan rancangan strategi mitigasi risiko pada setiap risiko operasional yang terjadi di IPA.

#### 4.1 Pengumpulan Data

##### 4.1.1 Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA)

Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Baubau merupakan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Kota Baubau yang didirikan berdasarkan Peraturan Daerah Kota Baubau Nomor 9 Tahun 2003 dengan cakupan pelayanan awal meliputi kelurahan Liwuto, Sukanayo, Lowu-Lowu, Kolese dan Kalia-lia. Pada tahun 2018, PDAM Kota Baubau sudah melayani 43 kelurahan dimana 16 kelurahan menggunakan Instalasi Pengolahan Air Minum.

**Tabel 4.1** Jumlah Pelanggan IPA Tahun 2018

No.	Nama Kecamatan	Nama Kelurahan	Jumlah Pelanggan
1.	Murhum	Melai	270
2.		Baadia	414
3.		Tanganapada	388
4.		Lamangga	250
5.		Wajo	151
6.	Batupoaro	Bone-bone	639
7.		Kaobula	375
8.		Tarafu	476
9.		Wameo	547
10.		Lanto	87
11.		Nganganaumala	69
12.	Betoambari	Katobengke	440
13.		Sulaa	399
14.		Lipu	989
15.		Labalawa	7
16.		Waborobo	20
Total			5.521

Sumber : PDAM Kota Baubau (2018)

Guna memenuhi kebutuhan air minum masyarakat di kota Baubau, PDAM memanfaatkan air permukaan (air sungai Kalibalana) sebagai bahan baku olahannya. Air sungai Kalibalana tersebut diolah menggunakan media Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) bertempat di salah satu kelurahan yang ada di kecamatan Murhum yaitu di Baadia. IPA tersebut mengolah air mencapai 35 L/detik dengan jam kerja 22 jam/hari sehingga dalam 1 hari dapat memproduksi air sebesar 2.772.000 L/hari untuk didistribusikan ke 5.521 pelanggan di tiga kecamatan kota Baubau. Selain air permukaan, PDAM kota Baubau juga memanfaatkan sumber mata air wamembe, mata air jatuh, dan mata air sorawolio dengan tidak menggunakan *treatment* atau langsung dialirkan ke 27 kelurahan lainnya.

#### **4.1.2 Proses Produksi dan Permasalahan yang terjadi di IPA**

Proses produksi air bersih di Instalasi Pengolahan Air Minum ini menggunakan air baku yang diambil dari air sungai Kalibalana melalui intake dengan media pompa. Proses pengolahannya pun dibagi kedalam 3 tingkat yakni :

1. Proses pengolahan fisik dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi kotoran (benda kasar) seperti sampah plastik, daun-daun yang jatuh dan menyisihkan pasir serta lumpur yang ada didalam air yang akan diolah. Unit yang berperan dalam proses pengolahan fisik yaitu operator-operator IPA, sedimentasi, dan unit filter.
2. Proses kimia yaitu pengolahan dengan menambahkan/membubuhkan zat kimia. Zat kimia (koagulan) yang biasanya digunakan yaitu tawas yang berfungsi untuk mengefektifkan proses koagulasi. Unit yang berperan dalam proses kimia yaitu operator-operator IPA dengan menambahkan tawas 25 kg/800 L.
3. Proses desinfeksi yaitu pengolahan air bersih dengan membubuhkan kaporit (gas klor) guna membunuh bakteri sehingga didapatkan air minum sesuai standar yang ditetapkan. Unit yang berperan dalam proses desinfeksi yaitu operator-operator IPA dengan menambahkan kaporit 1/2 kg/800 L.

Adapun aliran proses produksi air di Instalasi Pengolahan Air Minum di Baadia yaitu sebagai berikut :



1. Proses Intake menggunakan media pompa dan tidak melalui *pretreatment* terlebih dahulu, banyak sampah plastik, daun-daun yang jatuh dan pasir serta lumpur, oleh karena itu pompa sangat sering mengalami kerusakan.



2. Proses Koagulasi, pencampuran zat kimia dilakukan secara manual oleh operator dengan standarnya menggunakan 25 kg tawas yang dilarutkan dalam 800 L air. Kemudian air pencampurannya dialirkan melalui pipa untuk diproses di bak terbuka dengan pengadukan udara untuk mencampur bahan koagulan dengan air.



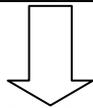
3. Proses Flokulasi terjadi dalam bak terbuka yang berkelok-kelok terdiri dari 6 bak yang berguna untuk proses pencampuran antara bahan koagulan dengan air baku sehingga flok terbentuk dan mudah mengendap.



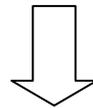
4. Proses Sedimentasi/pengendapan terjadi didalam bak terbuka yang berfungsi member kesempatan flok yang telah terbentuk menjadi mengendap. Unit ini juga dilengkapi 6 zona lumpur yang dioperasikan secara semi-otomatis.



5. Proses Filtrasi / penyaringan terdiri dari 2 unit saringan pasir cepat dengan 2 jenis media penyaring yaitu kerikil dan pasir silika. Disini flok yang masih ada akan tertahan melewati media penyaring sehingga air yang dihasilkan lebih jernih.



6. Proses Desinfeksi adalah proses penambahan desinfektan (kaporit) sebanyak  $\frac{1}{2}$  kg ke dalam 800 L air yang dicampur secara manual oleh operator, kemudian air desinfektannya akan dialirkan melalui pipa masuk ke dalam bak.



7. Reservoir adalah bak yang digunakan untuk menampung hasil air olahan IPA yang siap didistribusikan ke pelanggan.

**Gambar 4.1** Aliran Proses Instalasi Pengolahan Air Minum di Baadia

## 4.2 Pengolahan dan Analisa Data

Penilaian risiko menggunakan standar ISO 31000 secara terstruktur mulai dari *establish the context*, identifikasi risiko, analisa risiko, evaluasi risiko sampai pengendalian risiko/mitigasi risiko.

### 4.2.1 *Establish the Context*

Konteks dalam penelitian yang akan dibahas hanya fokus pada proses intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi yang merupakan proses bisnis dari IPA yang berdasarkan pengalaman para operator sering mengalami masalah operasional yang berpotensi menimbulkan risiko. Oleh karena itu, penelitian ini akan difokuskan pada risiko operasional pada proses intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, dan desinfeksi di Instalasi Pengolahan Air Minum.

### 4.2.2 Identifikasi Risiko

Identifikasi risiko ini dilakukan dengan metode *Focus group discussion* (FGD) terhadap pihak operator-operator IPA yang berhubungan langsung dengan proses pengolahan air minum mulai dari unit intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi sampai desinfeksi. Metode FGD tersebut digunakan untuk dapat mengidentifikasi risiko-risiko apa saja yang terjadi khususnya risiko operasional pada unit instalasi pengolahan air minum yakni sebagai berikut :

**Tabel 4.2** Identifikasi Risiko Operasional dan Frekuensi terjadinya di IPA

<b>Risiko Operasional Stein et al., (2017)</b>	<b>Penyebab FGD IPA (2018)</b>	<b>Frekuensi Kerusakan Tahun 2018</b>
Kualitas sumber air memburuk	Kerusakan pompa	Sering terjadi
Kerusakan komponen mekanis	Kerusakan meteran kekeruhan	Sering terjadi
	Kerusakan mixer	Sering terjadi
	Kerusakan meteran bahan kimia	Sering terjadi
	Kerusakan flow meter	Sering terjadi
	Masalah listrik	Sering terjadi
	Tidak ada kontrol laju filter	Hampir pasti terjadi
	Saluran bawah diblok	Sering terjadi
	Pengontrol dosis tidak berfungsi	Hampir pasti terjadi
Kerusakan pompa dosing	Hampir pasti terjadi	

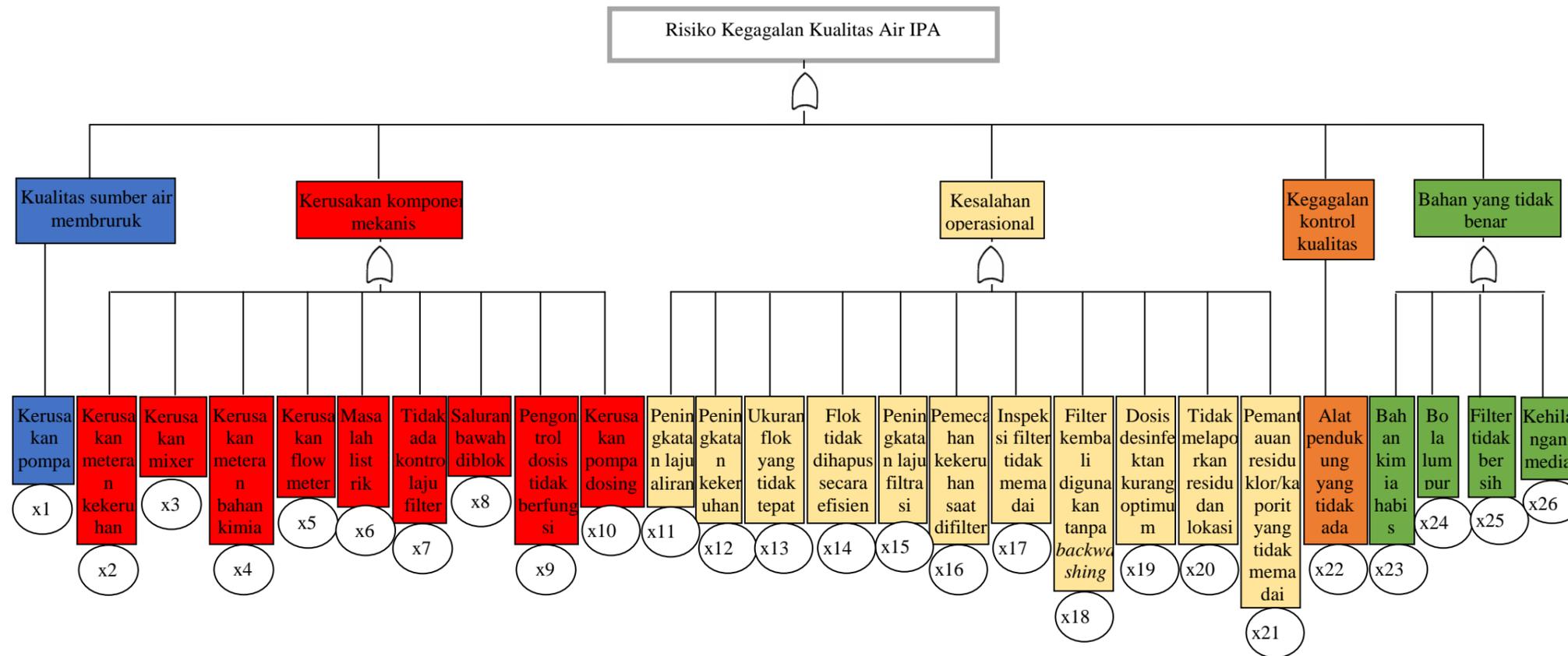
**Tabel 4.2** Identifikasi Risiko Operasional dan Frekuensi terjadinya di IPA  
(Lanjutan)

<b>Risiko Operasional</b>	<b>Penyebab</b>	<b>Frekuensi Kerusakan Tahun 2018</b>
Kesalahan operasional	Peningkatan laju aliran	Sering terjadi
	Peningkatan kekeruhan	Hampir pasti terjadi
	Ukuran flok yang tidak tepat	Hampir pasti terjadi
	Flok tidak dihapus secara efisien	Hampir pasti terjadi
	Peningkatan laju filtrasi	Sering terjadi
	Pemecahan kekeruhan saat difilter	Hampir pasti terjadi
	Inspeksi filter tidak memadai	Hampir pasti terjadi
	Filter kembali digunakan tanpa <i>backwashing</i>	Sering terjadi
	Dosis desinfektan tidak optimum	Hampir pasti terjadi
	Tidak melaporkan residu dan lokasi	Hampir pasti terjadi
	Pemantauan residu klor/kaporit yang tidak memadai	Hampir pasti terjadi
	Kegagalan kontrol kualitas	Alat pendukung yang tidak ada
Bahan yang tidak benar	Bahan kimia habis	Agak jarang terjadi
	Bola lumpur	Hampir pasti terjadi
	Filter tidak bersih	Hampir pasti terjadi
	Kehilangan media (pasir dan kerikil)	Hampir pasti terjadi

Sumber : Stein et al., (2017) ; FGD IPA (2018)

#### 4.2.3 Analisa Risiko Operasional dengan FTA

Berikut merupakan *Fault Tree Diagram* dari hasil identifikasi risiko operasional menggunakan metode *Fault Tree Analysis* yang kemudian di validasi langsung oleh kelima operator IPA dengan FGD :



Sumber : FGD di IPA (2018)

Gambar 4.2 Identifikasi Risiko Operasional dengan FTA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

### A. Perhitungan *Likelihood*

*Likelihood* dari risiko operasional ini adalah probabilitas terjadinya risiko. Perhitungan probabilitas risiko yang sering digunakan adalah frekuensi yang biasanya menggunakan data historis. Dikarenakan data historis tidak tersimpan secara baik di pihak PDAM kota Baubau, maka frekuensi terjadinya risiko operasional akan ditentukan dari pihak operator-operator IPA yang mengetahui dengan sangat baik sistem dan proses yang ada di unit-unit IPA tersebut dengan melakukan *Focus group discussion* (FGD).

Pihak-pihak yang tergabung dalam pemberian *judgement* ini terdiri dari kepala seksi produksi 1 orang dan 4 orang operator produksi. Penilaian *judgement* ini berpedoman pada standar risiko dari tabel 2.2 *Likelihood*. Adapun perhitungan nilai probabilitas risiko operasionalnya menurut Bramanti (2007) yaitu :

$$\frac{\text{Nilai frekuensi}}{\text{Total frekuensi}}$$

Dan untuk memperjelas perhitungan probabilitas risiko operasionalnya dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

**Tabel 4.3** Perhitungan *Likelihood*

Risiko Operasional	Kode dalam FTA	Frekuensi		Nilai Probabilitas
		Keterangan	Nilai	
Kualitas sumber air memburuk	X1	Sering terjadi	4	0.034
Kerusakan komponen mekanis	X2	Sering terjadi	4	0.034
	X3	Sering terjadi	4	0.034
	X4	Sering terjadi	4	0.034
	X5	Sering terjadi	4	0.034
	X6	Sering terjadi	4	0.034
	X7	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X8	Sering terjadi	4	0.034
	X9	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X10	Hampir pasti terjadi	5	0.043

**Tabel 4.3** Perhitungan *Likelihood* (Lanjutan)

Risiko Operasional		Frekuensi		Nilai Probabilitas
		Keterangan	Nilai	
Kesalahan operasional	X11	Sering terjadi	4	0.034
	X12	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X13	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X14	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X15	Sering terjadi	4	0.034
	X16	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X17	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X18	Sering terjadi	4	0.034
	X19	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X20	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X21	Hampir pasti terjadi	5	0.043
Kegagalan kontrol kualitas	X22	Hampir pasti terjadi	5	0.043
Bahan yang tidak benar	X23	Agak jarang terjadi	2	0.017
	X24	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X25	Hampir pasti terjadi	5	0.043
	X26	Hampir pasti terjadi	5	0.043
Total Frekuensi			117	

Sumber : FGD di IPA (2018) ; Bramanti (2007)

Deskripsi diatas apabila digambarkan dalam model matematis, maka probabilitas terjadi risiko operasional karena menggunakan gerbang *OR* maka :

1.  $P(KSAM) = P(KP)$   
 $= X1$   
 $= 0.034 = 3.4\%$
2.  $P(KKM) = P(KMK) \cup P(KM) \cup P(KMBK) \cup P(KFM) \cup P(ML) \cup$

$$\begin{aligned}
& P(\text{TAKLF}) \cup P(\text{SBD}) \cup P(\text{PDTB}) \cup P(\text{KPD}) \\
&= P(\text{KMK}) + P(\text{KM}) + P(\text{KMBK}) + P(\text{KFM}) + P(\text{ML}) + \\
&P(\text{TAKLF}) + P(\text{SBD}) + P(\text{PDTB}) + P(\text{KPD}) \\
&= X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10} \\
&= 0.034 + 0.034 + 0.034 + 0.034 + 0.034 + 0.043 + 0.034 + \\
&0.043 + 0.043 \\
&= 0.333 = 33.3\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \quad P(\text{KO}) &= P(\text{PLA}) \cup P(\text{PK}) \cup P(\text{UFYTP}) \cup P(\text{FTDSE}) \cup P(\text{PLF}) \cup \\
&P(\text{PKSD}) \cup P(\text{IFTM}) \cup P(\text{FKDTB}) \cup P(\text{DDKO}) \cup P(\text{TMRL}) \cup \\
&P(\text{PRKYTM}) \\
&= X_{11} + X_{12} + X_{13} + X_{14} + X_{15} + X_{16} + X_{17} + X_{18} + X_{19} + \\
&X_{20} + X_{21} \\
&= 0.034 + 0.043 + 0.043 + 0.043 + 0.034 + 0.043 + 0.043 + 0.034 + \\
&0.043 + 0.043 + 0.043 \\
&= 0.446 = 44.6\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \quad P(\text{KKK}) &= P(\text{APYTA}) \\
&= X_{22} \\
&= 0.043 = 4.3\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
5. \quad P(\text{BYTB}) &= P(\text{BKH}) \cup P(\text{BL}) \cup P(\text{FTB}) \cup P(\text{KM}) \\
&= X_{23} + X_{24} + X_{25} + X_{26} \\
&= 0.017 + 0.043 + 0.043 + 0.043 \\
&= 0.146 = 14.6\%
\end{aligned}$$

Keterangan :

P(KSAM) = Kualitas sumber air memburuk

P(KP) = Kerusakan pompa

P(KKM) = Kerusakan komponen mekanis

P(KMK) = Kerusakan meteran kekeruhan

P(KM) = Kerusakan mixer

P(KMBK) = Kerusakan meteran bahan kimia

P(KFM) = Kerusakan flow meter

P(ML) = Masalah listrik

P(TAKLF) = Tidak ada kontrol laju filter

P(SBD)	= Saluran bawah diblok
P(PDTB)	= Pengontrol dosis tidak berfungsi
P(KPD)	= Kerusakan pompa dosing
P(KO)	= Kesalahan operasional
P(PLA)	= Peningkatan laju aliran
P(PK)	= Peningkatan kekeruhan
P(UFYTP)	= Ukuran flok yang tidak tepat
P(FTDSE)	= Flok tidak dihapus secara efisien
P(PLF)	= Peningkatan laju filtrasi
P(PKSD)	= Pemecahan kekeruhan saat difilter
P(IFTM)	= Inspeksi filter tidak memadai
P(FKDTB)	= Filter kembali digunakan tanpa <i>backwashing</i>
P(DDKO)	= Dosis desinfektan tidak optimum
P(TMRL)	= Tidak melaporkan residu dan lokasi
P(PRKYTM)	= Pemantauan residu klor/kaporit yang tidak memadai
P(KKK)	= Kegagalan kontrol kualitas
P(APYTA)	= Alat pendukung yang tidak ada
P(BYTB)	= Bahan yang tidak benar
P(BKH)	= Bahan kimia habis
P(BL)	= Bola lumpur
P(FTB)	= Filter tidak bersih
P(KM)	= Kehilangan media (pasir dan kerikil)

## **B. Perhitungan *Consequences***

*Consequences* adalah konsekuensi/dampak dari timbulnya suatu risiko. Risiko operasional pada Instalasi Pengolahan Air Minum diperoleh dari data historis berupa biaya kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan pompa dan kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas dan bahan yang tidak benar. Namun data historis yang tersimpan hanya data tentang biaya kerugian yang diakibatkan oleh kerusakan pompa sedangkan untuk biaya kerugian yang lain tidak tersimpan secara baik di pihak PDAM kota Baubau, maka biaya kerugian seperti kerusakan meteran, mixer, flow meter, dan

meteran bahan kimia akan diestimasi oleh kepala seksi produksi yang mengetahui dengan sangat baik nilai kerugian dari operasional lainnya yang ada di IPA.

**Tabel 4.4** Perhitungan *Consequences*

No.	Tanggal	Keterangan	Biaya Kerugian Tahun 2018 (Rp)
1.	5 Januari 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
2.	23 Januari 2018	Kerusakan 6 pompa dosing	360.000.000
3.	3 Februari 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
4.	26 Maret 2018	Pembenahan pompa 45 kw	5.600.000
5.	20 April 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
6.	3 Mei 2018	Pembenahan pompa 47 kw	5.420.000
7.	25 Mei 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
8.	28 Mei 2018	Pembenahan pompa 37 kw	6.820.000
9.	13 Juni 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
10.	18 September 2018	Perbaikan keseluruhan pompa	22.000.000
11.	28 September 2018	Perbaikan keseluruhan pompa	22.000.000
12.	29 September 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
13.	1 Oktober 2018	Perbaikan keseluruhan pompa	25.000.000
14.	20 Oktober 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
15.	24 November 2018	Perbaikan keseluruhan pompa	22.000.000
16.	27 November 2018	Kerusakan meteran, mixer, flow meter, meteran bahan kimia	8.000.000
17.	26 Desember 2018	Pembenahan pompa 37 kw	7.430.000
Total			540.270.000

Sumber : PDAM Kota Baubau (2018) ; FGD di IPA (2018)

### C. Pemetaan Risiko Operasional

Nilai risiko operasional dari *likelihood* dan *consequences* yang telah didapat melalui pembuatan peta risiko akan menggambarkan kondisi kejadian risiko operasional yang dialami oleh Instalasi Pengolahan Air Minum. Hal ini juga perlu dipertanyakan sampai pada level risiko berapa yang dihadapi perusahaan agar

selanjutnya dapat diambil tindakan untuk menanggulangi risiko tersebut melalui proses mitigasi risiko.

Peta risiko berbentuk matriks dengan 5 x 5 yang mempunyai 2 sumbu, dimana sumbu X akan menggambarkan tingkatan atau kondisi dari dampak risiko (*consequences*), sedangkan sumbu Y menggambarkan level *likelihood*. Untuk pembagian kriteria level untuk masing-masing sumbu akan dilakukan berdasarkan kriteria dari *Standards Australia* (1999) dalam tabel 4.5 berikut ini :

**Tabel 4.5** *Consequences* dan *Likelihood*

<i>Consequences :</i>	<i>Likelihood :</i>
- <i>Insignificant</i>	- <i>Rare</i>
- <i>Minor</i>	- <i>Unlikely</i>
- <i>Moderate</i>	- <i>Moderate</i>
- <i>Major</i>	- <i>Likely</i>
- <i>Catastropic</i>	- <i>Almost certain</i>

Sumber : *Standards Australia* (1999)

Untuk mendapatkan batasan penerimaan risiko yang sesuai dengan kondisi perusahaan maka penentuan interval dan kriteria nilai yang menjadi dasar penentuan level untuk kedua kategori yakni *consequences* dan *likelihood* dibuat dengan pendekatan FGD dari pihak operator-operator IPA. Adapun pembagian interval masing-masingnya yaitu :

- a. Inteval *Likelihood* merupakan interval untuk probabilitas kejadian risiko.

*Rare* : < 10%  
*Unlikely* : 10 % < x < 30 %  
*Moderate* : 30 % < x < 60%  
*Likely* : 60 % < x < 80 %  
*Almost certain* : 80 % >

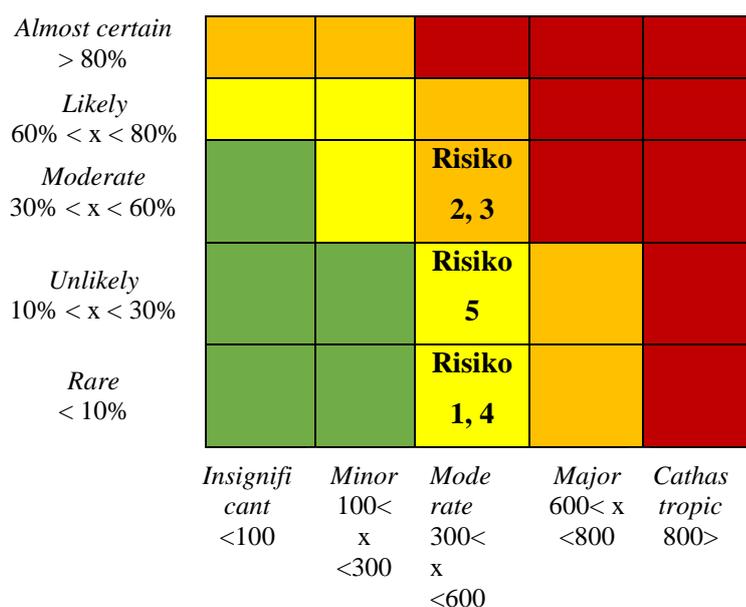
- b. Interval *Consequences* merupakan interval pembagian level dampak risiko dengan satuan juta berdasarkan kondisi perusahaan.

*Insignificant* : < 100  
*Minor* : 100 < x < 300  
*Moderate* : 300 < x < 600  
*Major* : 600 < x < 800  
*Cathastropic* : 800 >

Dari hasil FGD analisis risiko, telah didapatkan angka *consequences* dan *likelihood* untuk masing-masing risiko operasional IPA. Berikut adalah penentuan kategori dari masing-masing nilai tersebut :

1. Risiko kualitas sumber air memburuk
  - *Consequences* : 540.270.000
  - *Likelihood* : 3.4 %
2. Risiko kerusakan komponen mekanis
  - *Consequences* : 540.270.000
  - *Likelihood* : 33.3 %
3. Risiko kesalahan operasional
  - *Consequences* : 540.270.000
  - *Likelihood* : 44.6 %
4. Risiko kegagalan kontrol kualitas
  - *Consequences* : 540.270.000
  - *Likelihood* : 4.3 %
5. Risiko bahan yang tidak benar
  - *Consequences* : 540.270.000
  - *Likelihood* : 14.6 %

Dengan menggunakan kategori dari masing-masing nilai tersebut didapatkan gambaran risiko operasional pada IPA seperti gambar 4.3 berikut :

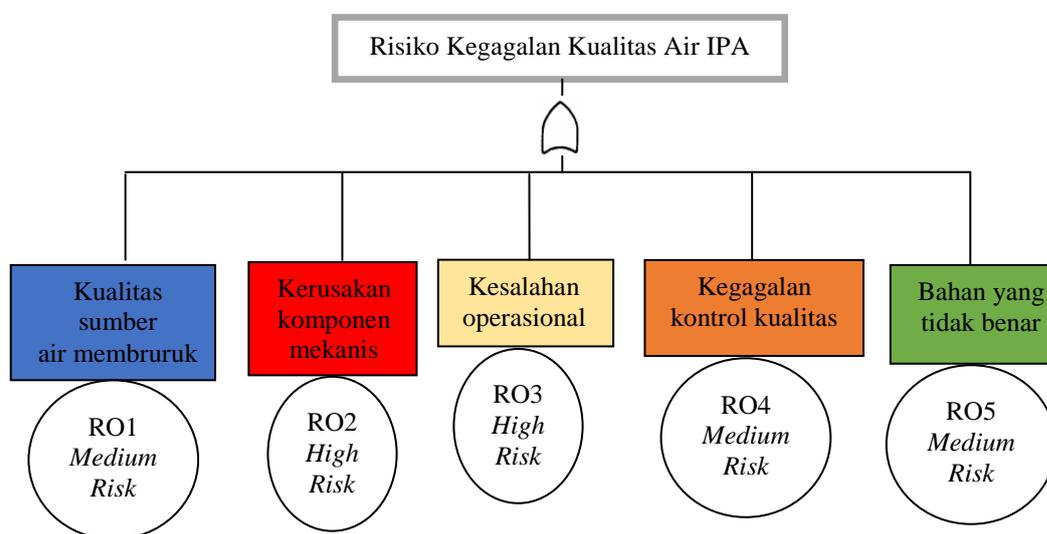


**Gambar 4.3** Pemetaan Risiko Operasional

Keterangan :

1. Hijau adalah *low risk*
2. Kuning adalah *medium risk*
3. Orens adalah *high risk*
4. Merah adalah *very high risk*

Apabila dilihat dari warna dan posisi risiko pada peta risiko operasional pada gambar 4.4, **risiko kerusakan komponen mekanis dan risiko kesalahan operasional** tergolong ***High Risk***, sementara **risiko kualitas sumber air memburuk, risiko kegagalan kontrol kualitas, dan risiko bahan yang tidak benar** tergolong ***Medium Risk***.



**Gambar 4.4** Risiko Operasional dengan Pemetaan FTA

Risiko operasional 1, 4, dan 5 termasuk dalam kategori ***Medium Risk*** yaitu risiko sedang dan menimbulkan kerugian finansial cukup besar kemudian risiko operasional 2 dan 3 termasuk dalam kategori ***High Risk*** yang merupakan risiko tinggi maka sebelum peneliti merancang mitigasi risiko yang tepat untuk mengurangi risiko operasional yang ada di IPA agar kedepannya tidak terjadi lagi, peneliti dan operator-operator IPA menganalisis kembali risiko operasional satu dengan yang lainnya, yang pada kenyataannya dilapangan terjadi hubungan keterkaitan risiko operasional satu dengan yang lainnya, oleh karena itu peneliti ingin membuktikan apakah risiko-risiko operasional tersebut memiliki hubungan keterkaitan satu dengan yang lainnya dengan menggunakan analisis *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL).

#### 4.2.4 Analisa Risiko Operasional dengan DEMATEL

Analisa risiko operasional dengan DEMATEL menggunakan kuisisioner dengan penilaian risiko operasional menggunakan cara FGD agar diperoleh nilai risiko operasional berdasarkan kesepakatan bersama. Nilai risiko operasional dipengaruhi oleh hasil pemetaan risiko operasional dari FTA, dimana X2 dan X3 merupakan risiko operasional *high risk* dan X1, X4, X5 adalah risiko operasional *medium risk*. Dalam kuisisioner DEMATEL diberikan *judgement* awal seperti itu agar dapat mempengaruhi penilaian kuisisioner DEMATEL karena input dari DEMATEL adalah output dari hasil pemetaan risiko operasional FTA. Berikut adalah hasil kuisisioner DEMATEL yang juga merupakan tahapan pertama dari pengolahan DEMATEL :

**Tabel 4.6** Hasil Kuisisioner DEMATEL (Intensitas Hubungan Relasi antar Faktor)

	Kualitas sumber air memburuk (X1)	Kerusakan komponen mekanis (X2)	Kesalahan operasional (X3)	Kegagalan kontrol kualitas (X4)	Bahan yang tidak benar (X5)
Kualitas sumber air memburuk (X1)		3	1	3	1
Kerusakan komponen mekanis (X2)	1		4	4	4
Kesalahan operasional (X3)	2	3		4	4
Kegagalan kontrol kualitas (X4)	3	3	3		4
Bahan yang tidak benar (X5)	1	2	3	3	

Sumber : FGD di IPA (2018)

Dalam tahap ini dilakukan identifikasi relasi terlebih dahulu dari masing-masing risiko operasional dengan menggunakan metode DEMATEL. DEMATEL digunakan untuk mengetahui pengaruh antar risiko operasional sebagai representasi risiko operasional yang terdapat didalam dimensi yang sama maupun berbeda. Untuk mengetahui pengaruh tersebut, dilakukan penyebaran kuisisioner yang diberikan kepada *expert* yaitu 1 orang kepala seksi produksi dan 4 orang operator produksi IPA.

Kuisisioner yang telah diisi oleh para *expert* diolah menggunakan *Microsoft Excel* sesuai dengan enam tahapan DEMATEL yang telah dijelaskan sebelumnya.

Setelah didapatkan matriks hubungan secara langsung menggunakan persamaan (2.20) pada subbab 2.6 tentang DEMATEL. Hasil perhitungan normalisasi matriks hubungan secara langsung dapat dilihat pada tabel 4.7. setelah didapatkan normalisasi matriks hubungan secara langsung, selanjutnya dilakukan perhitungan matriks hubungan secara total dengan menggunakan persamaan (2.21) dan (2.22) pada subbab 2.6. hasil perhitungan matriks hubungan secara total dapat dilihat pada tabel 4.11. Adapun tahap pengolahan DEMATEL yang merupakan data hubungan keterkaitan atau pengaruh antar risiko operasional selanjutnya akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Membangun matriks hubungan langsung (Z)

**Tabel 4.7** Matriks Hubungan Langsung (Z)

	X1	X2	X3	X4	X5	Jumlah baris
X1	0	3	1	3	1	8
X2	1	0	4	4	4	13
X3	2	3	0	4	4	13
X4	3	3	3	0	4	13
X5	1	2	3	3	0	9
Jumlah kolom	7	11	11	14	13	

2. Membuat matriks normalisasi (X) dari matriks Z

$$Z = k.X$$

$$K = \min \left[ \frac{1}{\max i \sum_{j=1}^n |X_{ij}|}, \frac{1}{\max j \sum_{i=1}^n |X_{ij}|} \right], j = 1, 2, \dots, \text{sampai } n$$

**Tabel 4.8** Matriks Normalisasi (X) dari Matriks Z

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	0	0.375	0.125	0.375	0.125
X2	0.077	0	0.308	0.308	0.308
X3	0.154	0.231	0	0.308	0.308
X4	0.214	0.214	0.214	0	0.286
X5	0.077	0.154	0.231	0.231	0

3. Membangun matriks hubungan total (*direct and indirect relation matrix*)

$$T = Z (I-X)^{-1}, I = \text{matriks identitas}$$

**Tabel 4.9** Matriks (I-X)

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1	-0.375	-0.125	-0.375	-0.125
X2	-0.077	1	-0.308	-0.308	-0.308
X3	-0.154	-0.231	1	-0.308	-0.308
X4	-0.214	-0.214	-0.214	1	-0.286
X5	-0.077	-0.154	-0.231	-0.231	1

**Tabel 4.10** Matriks  $(I-X)^{-1}$

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	2.364	2.437	2.271	2.934	2.585
X2	1.388	3.054	2.315	2.708	2.623
X3	1.446	2.253	3.077	2.789	2.620
X4	1.415	2.136	2.136	3.417	2.467
X5	1.057	1.672	1.736	2.088	2.779

**Tabel 4.11** Matriks  $T_C = (I-X)^{-1}$

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1.364	2.437	2.271	2.934	2.585
X2	1.388	2.054	2.315	2.708	2.623
X3	1.446	2.253	2.077	2.789	2.620
X4	1.415	2.136	2.136	2.417	2.467
X5	1.057	1.672	1.736	2.088	1.779

4. Menghitung total baris dan kolom

Setelah didapatkan matriks hubungan secara total, maka langkah selanjutnya adalah menghitung nilai D dan R menggunakan rumus (2.23) dan (2.24) dibawah ini. Perhitungan nilai D dan R digunakan untuk mendapatkan *prominence* (D+R) dan *relation* (D-R). Hasil dari *prominence* (D+R) menunjukkan tingkat kepentingan antar risiko operasional, sedangkan *relation* (D-R) untuk melihat hubungan sebab akibat pada risiko operasional. Hasil perhitungan nilai D, nilai R, nilai D-R, dan D+R dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah ini :

$$D_i = [\sum_{j=1}^n T_{ij}] \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$$R_j = [\sum_{i=1}^n T_{ij}] \quad (j = 1, 2, \dots, n)$$

**Tabel 4.12** Matriks Nilai D dan R

	X1	X2	X3	X4	X5	D	D+R	D-R
X1	1.364	2.437	2.271	2.934	2.585	11.591	18.261	4.921
X2	1.388	2.054	2.315	2.708	2.623	11.088	21.640	0.536
X3	1.446	2.253	2.077	2.789	2.62	11.185	21.720	0.650
X4	1.415	2.136	2.136	2.417	2.467	10.571	23.507	-2.365
X5	1.057	1.672	1.736	2.088	1.779	8.332	20.406	-3.742
R	6.67	10.552	10.535	12.936	12.074			

Berdasarkan tabel 4.12 diatas dapat diketahui pengelompokan seluruh risiko operasional ke dalam kelompok *dispatcher* dan *receiver*, dimana pengelompokan tersebut merupakan tujuan utama dari penggunaan metode DEMATEL. Adapun untuk mengetahui risiko operasional mana yang merupakan kelompok pemberi pengaruh (*dispatcher*) dan penerima pengaruh (*receiver*) yang dibuat berdasarkan nilai *relation* (D-R). Kelompok *dispatcher* merupakan kelompok yang memberikan pengaruh lebih besar daripada risiko operasional lainnya dan diasumsikan sebagai prioritas utama. Pengelompokan risiko operasional kedalam kelompok *dispatcher* didasarkan pada nilai D-R positif. Berikut adalah pengelompokan risiko operasional ke dalam *dispatcher*.

**Tabel 4.13** Risiko Operasional Kelompok *Dispatcher*

No.	Risiko Operasional
X1	Kualitas sumber air memburuk
X2	Kerusakan komponen mekanis
X3	Kesalahan operasional

Selain kelompok *dispatcher* terdapat kelompok *receiver* yang merupakan kelompok yang menerima pengaruh lebih besar dari risiko operasional lainnya dan diasumsikan sebagai prioritas akhir. Risiko operasional yang tidak termasuk dalam kelompok *dispatcher* merupakan risiko operasional yang ada di dalam kelompok *receiver*. Pengelompokan risiko operasional untuk kelompok *receiver* didasarkan pada D-R negatif.

**Tabel 4.14** Risiko Operasional Kelompok *Receiver*

No.	Risiko Operasional
X4	Kegagalan kontrol kualitas
X5	Bahan yang tidak benar

Berikut merupakan perbandingan hasil analisa menggunakan metode FTA dan DEMATEL :

**Tabel 4.15** Perbandingan Hasil Analisa menggunakan Metode FTA dan DEMATEL

	FTA	DEMATEL			
	Pemetaan Risiko Operasional	Peta <i>Impact-digraph</i> (Ada Hubungan)	<i>Prominence</i> D+R	Kelompok <i>Dispatcher</i>	Kelompok <i>Receiver</i>
X1	<i>Medium Risk</i>	X2, X3, X4, X5	<i>small</i>	X1	-
X2	<i>High Risk</i>	X3, X4, X5	<i>medium</i>	X2	-
X3	<i>High Risk</i>	X2, X4, X5	<i>high</i>	X3	-
X4	<i>Medium Risk</i>	X2, X3, X4, X5	<i>Very high</i>	-	X4
X5	<i>Medium Risk</i>	-	<i>low</i>	-	X5

Berdasarkan tabel 4.15 diatas dapat diketahui bahwa hasil analisa dengan pemetaan risiko operasional dengan fta menghasilkan kerusakan komponen mekanis dan kesalahan operasional dengan *high risk*, hasil ini bila dibandingkan dengan analisa menggunakan dematel memang dapat dilihat bahwa dari peta *impact-diagraph* juga menunjukkan bahwa kerusakan komponen mekanis dan kesalahan operasional memang memiliki pengaruh satu sama lainnya atau dengan kata lain “Ada Hubungan”, kemudian dilihat dari *Prominence* D+R yang menandakan bahwa kerusakan komponen mekanis dan kesalahan operasional memberikan pengaruh besar dan cukup besar kepada risiko operasional lainnya.

Kelompok *dispatcher* disini adalah kelompok pemberi pengaruh yaitu kualitas sumber air memburuk, kerusakan komponen mekanis dan kesalahan operasional. Terlihat bahwa metode FTA dan DEMATEL yang digunakan memiliki hasil kemiripan yang cukup sama. Oleh karena itu, terbukti bahwa risiko operasional kualitas sumber air memburuk sampai bahan yang tidak benar memiliki hubungan satu dengan yang lainnya, bukan hanya berdasarkan kasus

*real* dilapangan juga terbukti secara teoritis dengan menggunakan metode FTA dan DEMATEL.

Berikut merupakan analisa dari tabel 4.15 :

1. Kualitas sumber air memburuk memberikan pengaruh namun kecil terhadap kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar dengan risiko operasional jika terjadi maka akan menimbulkan kerugian finansial yang cukup besar.
2. Kerusakan komponen mekanis memberikan pengaruh sedang terhadap kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar dengan risiko operasional jika terjadi maka akan menimbulkan kerugian finansial yang besar.
3. Kesalahan operasional memberikan pengaruh tinggi terhadap kerusakan komponen mekanis, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar dengan risiko operasional jika terjadi maka akan menimbulkan kerugian finansial yang besar.
4. Kegagalan kontrol kualitas menerima pengaruh sangat tinggi dari kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar dengan risiko operasional jika terjadi maka akan menimbulkan kerugian finansial yang cukup besar.
5. Bahan yang tidak benar menerima pengaruh kecil dengan risiko operasional jika terjadi maka akan menimbulkan kerugian finansial yang cukup besar.

Prioritas penanganan risiko operasional untuk kerugian finansial yang besar dan memberikan pengaruh besar dan cukup besar ke risiko operasional lain yaitu kesalahan operasional dan kerusakan komponen mekanis selanjutnya adalah kualitas sumber air memburuk, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar yang akan ditangani.

#### **4.2.5 Evaluasi Risiko**

Setelah menganalisis perhitungan nilai D dan R diatas, dengan nilai D didapatkan melalui penjumlahan setiap baris pada matriks hubungan secara total. Sedangkan nilai R adalah penjumlahan pada setiap kolom. Setelah perhitungan seluruh nilai D dan R dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah membuat peta

*impact diagram*. Dari *impact diagram* tersebut dapat diketahui pengaruh atau hubungan keterkaitan antar risiko operasional. Peta ini juga dapat mengartikan bahwa penyebab atau faktor-faktor risiko operasional x1 sampai x26 juga memiliki pengaruh atau hubungan keterkaitan dikarenakan risiko operasional induknya dapat diketahui hubungan keterkaitannya. Untuk peta *impact diagram* dibuat berdasarkan nilai batasan atau *threshold value* yang didapatkan dari perhitungan rata-rata pada matriks hubungan total.

Nilai rata-rata keseluruhan matriks hubungan total adalah sebesar 2.111, maka setiap nilai pada matriks hubungan total akan dibandingkan dengan *threshold value*. Apabila nilai pada matriks hubungan total lebih besar daripada *threshold value*, maka risiko operasional tersebut memiliki pengaruh/keterkaitan dengan risiko operasional lainnya. Sedangkan apabila nilai tersebut lebih kecil daripada *threshold value*, maka risiko operasional tidak memiliki hubungan yang kuat. Berikut merupakan pengolahannya :

**Tabel 4.16** Matriks Hubungan Total

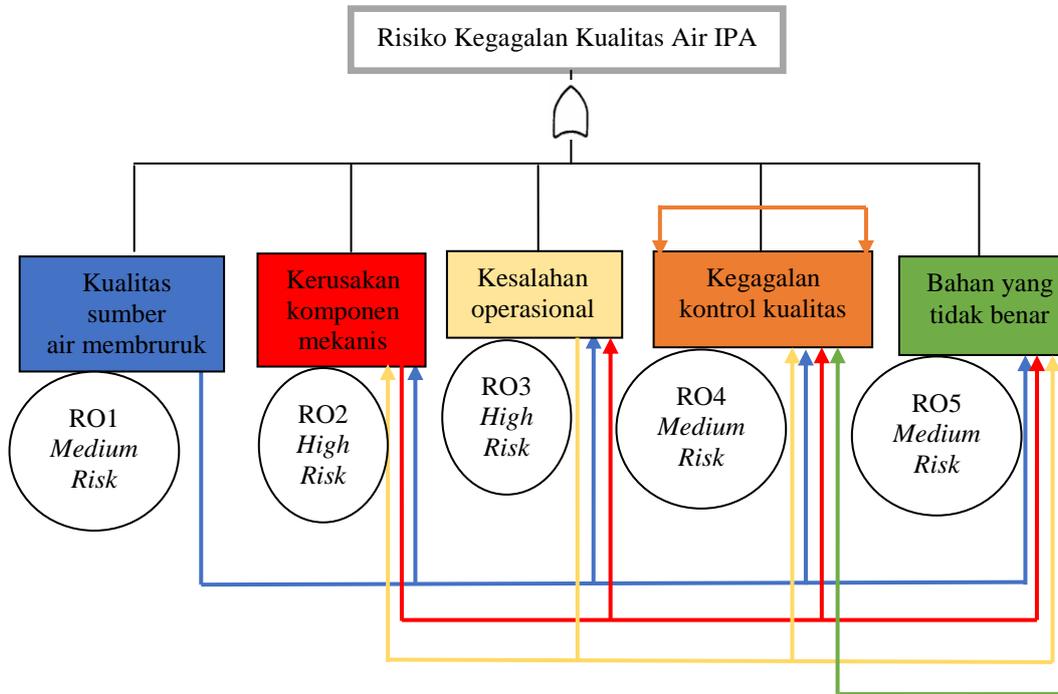
	X1	X2	X3	X4	X5
X1	1.364	2.437	2.271	2.934	2.585
X2	1.388	2.054	2.315	2.708	2.623
X3	1.446	2.253	2.077	2.789	2.620
X4	1.415	2.136	2.136	2.417	2.467
X5	1.057	1.672	1.736	2.088	1.779

Perbandingan dengan *threshold value* sebesar 2.111, adapun hasil dari perhitungan *impact diagram* menjadi peta yang dapat dilihat pada tabel 4.17 :

**Tabel 4.17** Hasil Peta *Impact Diagram*

	X1	X2	X3	X4	X5
X1	-	Ada	Ada	Ada	Ada
X2	-	-	Ada	Ada	Ada
X3	-	Ada	-	Ada	Ada
X4	-	Ada	Ada	Ada	Ada
X5	-	-	-	-	-

Adapun evaluasi risiko dengan menggunakan analisis FTA dan DEMATEL menghasilkan gambar 4.5 dibawah ini :



**Gambar 4.5** Hasil Analisis FTA dan DEMATEL

**Tabel 4.18** Hasil Analisis FTA dan DEMATEL

	FTA	DEMATEL
	Pemetaan Risiko Operasional	Peta <i>Impact-digraph</i> (Ada Hubungan)
X1	<i>Medium Risk</i>	X2, X3, X4, X5
X2	<i>High Risk</i>	X3, X4, X5
X3	<i>High Risk</i>	X2, X4, X5
X4	<i>Medium Risk</i>	X2, X3, X4, X5
X5	<i>Medium Risk</i>	-

Berdasarkan gambar 4.5 dengan menggunakan *fault tree diagram* dari metode FTA dan tabel 4.18 menunjukkan bahwa kualitas sumber air memburuk, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar termasuk dalam kategori *medium risk* yang berarti risiko operasional sedang dan dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar. Sedangkan kerusakan komponen mekanis dan kesalahan operasional termasuk dalam *high risk* yang berarti risiko operasional tinggi dan dapat menimbulkan kerugian yang besar bagi perusahaan. Kemudian

didapatkan hubungan atau keterkaitan kualitas sumber air memburuk sampai bahan yang tidak benar menggunakan DEMATEL.

#### **4.2.6 Strategi Mitigasi Risiko**

Mitigasi risiko dilakukan sesudah didapatkan nilai risiko dan penanganan prioritas risiko maka tahap selanjutnya adalah melakukan upaya pengendalian risiko dan menurunkan nilai risiko tersebut ke tingkat yang lebih rendah atau bahkan dapat menghilangkannya. Upaya pengendalian risiko atau yang dinamakan dengan mitigasi risiko yang akan diberikan pada penelitian ini adalah hanya sebatas rancangan usulan strategi risiko operasional pada perusahaan PDAM khususnya di IPA untuk dilakukan jika ingin menurunkan level risiko. Metode mitigasi risiko operasional ini akan dilakukan berdasarkan level risiko masing-masing dimana kesalahan operasional dan kerusakan komponen mekanis adalah *high risk*, kemudian kualitas sumber air memburuk, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar adalah *medium risk*.

##### **a. Risiko Operasional dengan Level *High Risk***

Level *high risk* disini merupakan risiko yang tinggi/besar dan dapat menimbulkan kerugian finansial yang besar. Adapun risiko operasional yang tergolong dalam pengendalian risiko prioritas utama yaitu :

1. Kesalahan operasional. Karena termasuk dalam level *high risk*, memiliki nilai D+R yang *high*, dan termasuk dalam kelompok *dispatcher* atau kelompok yang memberikan pengaruh kepada kerusakan komponen mekanis, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar.
2. Kerusakan komponen mekanis. Karena termasuk dalam level *high risk*, memiliki nilai D+R yang *medium*, dan termasuk dalam kelompok *dispatcher* atau kelompok yang memberikan pengaruh kepada kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar.

Berikut upaya untuk menangani risiko operasional yang tergolong dalam level *high risk* adalah :

**Tabel 4.19** Strategi Mitigasi Risiko Operasional dengan Level *High Risk*

No.	Risiko Operasional	Sumber Daya Manusia	Teknis
1.	Kesalahan operasional	1. Kinerja SDM di instalasi pengolahan air minum harus ditingkatkan seperti menerapkan sebuah program “ <i>employee of the month</i> ”	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dosis pembubuh koagulan dan desinfektan harus tepat dan disesuaikan kondisi kualitas air baku.</li> <li>2. Pengadaan alat pendukung IPA seperti jartes/perbaikan pompa dosing.</li> <li>3. Monitoring secara rutin dengan metode analisa kualitas air yang baik dan benar pada air baku dan air produksi IPA.</li> <li>4. Monitoring kinerja unit-unit IPA dan tekanan air disetiap unitnya.</li> <li>5. Proses pemeliharaan dan pembersihan/pembenahan unit-unit IPA dan peralatan, seperti pompa harus dijadwalkan secara baik dan rutin agar kinerja IPA dapat terjaga dan hasilnya optimum.</li> </ol>
2.	Kerusakan komponen mekanis	2. Perlunya disusun SOP dari masing-masing operator.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dilakukan proses pembersihan untuk masing-masing komponen mekanis secara rutin sebagai tindakan preventive penanganan komponen-komponen mekanis.</li> <li>2. Proses pemeliharaan dan pembersihan/pembenahan komponen mekanis seperti meteran kekeruhan, mixer, meteran bahan kimia, flow meter, pompa dosing harus dijadwalkan secara baik dan rutin agar kerusakan bisa ditekan seminimal mungkin.</li> <li>3. Kerjasama dengan pihak PLN atau pengadaan generator sebagai cadangan apabila listrik padam.</li> <li>4. Inspeksi kerusakan komponen mekanis secara rutin dan terjadwal agar kerusakan-kerusakannya dapat terdeteksi dengan cepat.</li> </ol>

### **b. Risiko Operasional dengan Level Medium Risk**

Level *medium risk* disini merupakan risiko yang sedang dan dapat menimbulkan kerugian finansial yang cukup besar. Adapun risiko operasional yang tergolong dalam pengendalian risiko prioritas akhir yaitu :

1. Kualitas sumber air memburuk merupakan pengendalian risiko prioritas utama pada level ini. Karena termasuk dalam level *medium risk*, memiliki nilai D+R yang *small* tetapi termasuk dalam kelompok *dispatcher* atau kelompok yang memberikan pengaruh kepada kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar.
2. Kegagalan kontrol kualitas. Karena termasuk dalam level *medium risk*, memiliki nilai D+R yang *very high* namun termasuk dalam kelompok *receiver* atau kelompok yang menerima pengaruh dari kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar.
3. Bahan yang tidak benar termasuk dalam level *medium risk*, memiliki nilai D+R yang *low* dan termasuk dalam kelompok *receiver* atau kelompok yang menerima pengaruh.

Berikut upaya untuk menangani risiko operasional yang tergolong dalam level *medium risk* adalah :

**Tabel 4.20** Strategi Mitigasi Risiko Operasional dengan Level Medium *Risk*

No.	Risiko Operasional	Sumber Daya Manusia	Teknis
1.	Kualitas sumber air memburuk	1. Kinerja SDM di instalasi pengolahan air minum harus ditingkatkan seperti menerapkan sebuah program	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dilakukan proses pembersihan untuk intake dan pompa secara rutin sebagai tindakan preventive.</li> <li>2. Pengadaan alat untuk <i>pretreatment</i> intake.</li> <li>3. Monitoring secara rutin dengan metode analisa kualitas air yang baik dan benar pada air baku</li> <li>4. Monitoring kinerja unit-unit IPA agar dilakukan secara rutin dan teratur.</li> <li>5. Proses pemeliharaan dan pembersihan/pembenahan pompa submersible dan sentrifugal harus dijadwalkan secara baik dan rutin agar kerusakan bisa ditekan seminimal mungkin.</li> <li>6. Inspeksi intake dan pompa yang digunakan secara rutin dan terjadwal agar kerusakan-kerusakannya dapat terdeteksi dengan cepat.</li> </ol>
2.	Kegagalan kontrol kualitas	“ <i>employee of the month</i> ”	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengadaan alat oleh pihak manajemen PDAM untuk kebutuhan standar IPA seperti jartes/perbaikan pompa dosing.</li> <li>2. Inspeksi alat-alat dasar yang dibutuhkan untuk pengolahan air bersih harus dilakukan secara rutin dan terjadwal agar tidak menimbulkan masalah.</li> </ol>
3.	Bahan yang tidak benar	2. Perlunya disusun SOP dari masing-masing operator.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proses pemeliharaan dan pembersihan/pembenahan setiap unit IPA harus dijadwalkan secara baik dan rutin agar kekeruhan/suspended partikel bisa dihilangkan.</li> <li>2. Inspeksi bahan-bahan kimia untuk menyiapkan cadangan IPA harus dilakukan secara rutin dan terjadwal agar bahan-bahan selalu terjaga availabilitasnya.</li> </ol>

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisi rincian kesimpulan dan saran yang merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari seluruh proses penelitian yang dilakukan untuk menjawab tujuan penelitian. Kemudian diberikan saran yang berisi tentang kelemahan penelitian serta peluang penelitian selanjutnya.

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mulai dari identifikasi sampai pemetaan risiko operasional dengan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) kemudian menganalisis hubungan keterkaitan antar risiko operasional menggunakan *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) dapat diusulkan beberapa pengendalian risiko yang menjadi rancangan strategi mitigasi risiko di IPA, dan dapat ditarik kesimpulan berupa :

1. Pengembangan model FTA yang diintegrasikan dengan DEMATEL pada penelitian ini terbukti dapat menyelesaikan *problem* yang ada di IPA dan pengintegrasian menjadi suatu temuan metode baru.
2. Dengan mengimplementasikan model FTA dan DEMATEL dalam melakukan penilaian risiko di PDAM dapat diketahui risiko yang menjadi akar permasalahannya dan juga dapat diketahui hubungan antar risiko operasional sehingga dengan mudah dapat diketahui risiko mana yang memberi atau menerima pengaruh, risiko yang termasuk dalam level tertentu, kemudian dapat mengetahui tingkat kepentingan risiko di antara lainnya dan dapat mengetahui prioritas risiko operasional yang harus ditangani terlebih dahulu.
3. Rumusan strategi mitigasi risiko pada proses produksi PDAM menggunakan strategi mitigasi sumber daya manusia dan teknis

dikarenakan yang menjadi fokus dalam penelitian ini yaitu pada segi operasional *risk* nya. Dengan diketahuinya strategi mitigasi risiko tersebut, PDAM dapat menyelesaikan permasalahan atau dapat meminimalisasi risiko yang terjadi di IPA dan agar tidak terjadi lagi dikemudian hari sehingga biaya operasional IPA tidak banyak mengalami *loss* atau kehilangan.

## **5.2 Saran**

Berikut merupakan saran dari peneliti untuk penelitian dimasa yang akan datang :

1. Untuk penelitian dimasa yang akan datang sebaiknya menghitung nilai hubungan FTA dan DEMATEL.
2. Perlu dilakukan analisa dampak lain selain risiko operasional misalnya dampak berupa penyakit yang diderita oleh konsumen IPA.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abria. (2014). *Analisis Risiko*. (2MTS01427).
- Anityasari and Wessiana. (2011). *Analisa Kelayakan Usaha dilengkapi dengan Kajian Manajemen Risiko dengan Pendekatan Student Centered Learning*. Surabaya : Guna Widya.
- AS/NSZ. (2004). *AS/NSZ 4360 : 2004*.
- AS/NSZ. (2009). *ISO 31000 : 2009*.
- AS/NZS. (1999). *AS/NZS 4360:1999 Risk Management*. NSW.  
<https://doi.org/Standards Association of Australia>
- Bramanti, G. W. (2007). *Analisa Risiko Kesehatan Kualitas Air Minum PDAM Kota Surabaya*. Tugas Akhir Teknik Industri ITS. Surabaya.
- CAN/CSA. (2004). *Coso Enterprise Risk Management*. Canada.
- Chen, I. (2016). *A combined MCDM model based on DEMATEL and ANP for the selection of airline service quality improvement criteria: a study based on the Taiwanese airline industry*. *J. Air Transport. Manag*, 57, 7–18.
- Crandall, and A. B. (1990). *Risk Category*. Germany.
- Davison, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Fewtrell, L., & Deere, D., Bartram, J. (2005). *Water Safety Plans: Managing Drinking-water Quality from Catchment to Consumer, WHO/ SDE/W(World Health Organisation, Geneva)*.
- Degremont. (1979). *Water Treatment Handbook*. New York: John Wiley & Sons. <https://doi.org/A Halsted Press Book>
- Dou, Y., Sarkis, J. (2013). *A multiple stakeholder perspective on barriers to implementing China RoHS regulations*. *Resour. Conserv. Recy.*, 81, 92–104.
- Gabus, A., Fontela, E. (1972). *World problems, An Invitation to Further Thought within the Framework of DEMATEL*. Geneva, Switzerland: Battelle Geneva Research Centre.
- Gigovic, L., Pamucar, D., Bozanic, D., Ljubojevic, S. (2017). *Application of*

- the GISDANP-MABAC multi-criteria model for selecting the location of wind farms: a case study of Vojvodina, Serbia. Renew. Energy, 103, 501–521.*
- Gitinavard, H., Mousavi, S.M., Vahdani, B. (2017). *Soft computing based on hierarchical evaluation approach and criteria interdependencies for energy decisionmaking problems: a case study. Energy, 118, 556–577.*
- Herman, D. (2006). *Manajemen Risiko*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Hopkinson, R. (2011). *Risk Management, Concept and Application*. New York: Mc-Graw Hill.
- Indah, A. B. R. (2016). *Pengembangan Model Risk Assessment yang Mempertimbangkan Hubungan Risiko dengan Pendekatan Terintegrasi*. Tesis ITS. Surabaya
- ISO 31000:2009. (2009). *Risk management-Principles and Guidelines*. Geneva, Switzerland: *International Organization for Standardization*.
- Lee, W.S., Huang, A.Y., Chang, Y.Y., Cheng, C.M. (2011). *Analysis of decision making factors for equity investment by DEMATEL and analytic network process. Expert Syst. Appl., 38 (7), 8375–8383.*
- Lewis, E. E. (1988). *Introduction to Reliability Engineering*. Canada: John Willey & Sons.
- Lin, S., Li, C., Xu, F., Liu, D., Liu, J. (2018). *Risk identification and analysis for new energy power system in China based on D numbers and decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL). J. Clean. Prod., 180, 81–96.*
- Lindhe, Andreas., Lars Rose´n., Tommy Norberg., Olof Bergstedt. (2009). *Fault tree analysis for integrated and probabilistic risk analysis of drinking water systems. Water Research, 43 (6), 1641–1653.*  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.034>
- Loosemore, et al. (2006). *Risk Management in Projects*.
- Nie, R., Tian, Z., Wang, J., Zhang, H., & Wang, T. (2018). *Water security sustainability evaluation: Applying a multistage decision support framework in industrial region. Journal of Cleaner Production, 196,*

1681–1704. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.144>

Nanosmartfilter.com

OSHA 3071. (2002). USA : *Occupational Safety & Health Administration*.

US

Ozesmi, U. & L. Ozesmi, S. (2004). *Ecological Models Based on People's Knowledge: a Multi-step Fuzzy Cognitive Mapping Approach*. *Ecological Modelling*. Volume 176 p 43-64.

Pamucar, D., Mihajlovic, M., Obradovic, R., Atanaskovic, P. (2017). *Novel approach to group multi-criteria decision making based on interval rough numbers: hybrid DEMATEL-ANP-MAIRCA model*. *Expert Syst Appl*, 58–80.

PDAM. (2018). *Profil Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM)*. PDAM Kota Baubau.

Ranjbar, Mostafa Safdari dan Shirazi, M. A. (2014). *Interaction Among Intra-Organizational Factors Effective in Successful Strategy Execution-An Analytical View*. *Journal of Strategy and Management*, 7 (2), 79–88.

Roberts, H.R., Vesley, W.E., Haast, D.F., Goldberg, F. (1981). *Fault Tree Handbook: U.S Nuclear Comission Energy*. Retrieved from <http://www.nrc.gov>

Standards, B. (2004). *Occupational health & safety management systems in BS*.

Stein, D., Achari, G., Langford, C. H., Dore, M. H. I., Haider, H., Zhang, K., & Sadiq, R. (2017). *Performance management of small water treatment plant operations : a decision support system*, 31, 330–344. <https://doi.org/10.1111/wej.12248>

Suparno, W. M. (2015). *Manajemen Risiko Dalam Proyek Konstruksi*.

Umar, H. (2001). *Manajemen Risiko Bisnis Pendekatan Finansial dan Nonfinansial*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.

WHO. (2004). *Guidelines for Drinking-water Quality*. In *Recommendations World Health Organization (Third)*. Geneva.

W, Indah. (2011). *Pengembangan Model Penentuan Prioritas Perencanaan*

- Transportasi Jangka Panjang dengan menggunakan Pendekatan Multicriteria Decision Making (MCDM)*. Tesis ITS. Surabaya
- Wu, W.T., Lee, Y.T. (2007). *Developing global managers' competencies using the fuzzy DEMATEL method*. *Expert Syst Appl*, 32(2), 499–507.
- Wu, Wei-Shing, Chen-Feng Yang, Jung-Chuan Chang, P.-A. C., & Yang-Chi, C. (2015). *Risk assessment by integrating interpretive structural modeling and Bayesian network, case of offshore pipeline project*.
- Wu, Yunna, Lingwenying Li, Ruhang Xu, Kaifeng Chen, Yong Hu, X. L. (2017). *Risk assessment in straw-based power generation public-private partnership projects in China: A fuzzy synthetic evaluation analysis*.
- Yazdi, M. (2018). *Risk assessment based on novel intuitionistic fuzzy-hybrid-modified TOPSIS approach*.

## LAMPIRAN 1

### KUISIONER DEMATEL

Nama : Widya Spalanzani  
Profesi : Mahasiswi  
Institusi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Jurusan : Pascasarjana Teknik Industri  
Konsentrasi : Manajemen Kualitas dan Manufaktur  
No. Telepon : 082243761832  
Email : spalanzani.17024@mhs.its.ac.id

Kuisisioner berikut merupakan kuisisioner *Decision Making Trial and evaluation Laboratory* (DEMATEL) untuk meneliti hubungan keterkaitan antar risiko operasional seperti kualitas sumber air memburuk, kerusakan komponen mekanis, kesalahan operasional, kegagalan kontrol kualitas, dan bahan yang tidak benar. Kuisisioner ini adalah media yang dilakukan oleh peneliti kepada pihak operator Instalasi Pengolahan Air Minum (IPA) dalam hal mencari tahu ada tau tidaknya hubungan antar risiko operasional tersebut menggunakan *Focus Group Discussion* (FGD). Tujuan kuisisioner ini adalah untuk memberikan penilaian keterkaitan antar risiko operasional dengan menggunakan hasil/output dari metode *Fault Tree Analysis* (FTA) yang menyatakan bahwa :

Risiko Operasional	Level Risk FTA	Keterangan
Kerusakan komponen mekanis	<i>High risk</i>	Risiko yang tinggi/besar dan dapat menimbulkan kerugian finansial yang besar.
Kesalahan operasional		
Kualitas sumber air memburuk	<i>Medium risk</i>	Risiko yang sedang dan dapat menimbulkan kerugian finansial besar
Kegagalan kontrol kualitas		
Bahan yang tidak benar		

Data kuisisioner DEMATEL berupa angka keterkaitan antar risiko operasional yang ditentukan oleh para responden berdasarkan output dari metode FTA tersebut, diharapkan dengan adanya output FTA dapat mempengaruhi penilaian responden terhadap data kuisisioner DEMATEL

yang akan diisi. Adapun pihak yang terlibat adalah dari kepala seksi produksi 1 orang dan 4 orang operator produksi.

Tingkat Kepentingan	Definisi
0	Tidak ada pengaruh
1	Pengaruh rendah
2	Pengaruh sedang
3	Pengaruh tinggi
4	Pengaruh sangat tinggi

Berikut adalah contoh pengisian kuisioner. Misalnya karena B dan C sudah tergolong *High Risk* (warna orans) dan A, D, E tergolong *Medium Risk* (warna kuning) maka diharapkan kepada Bapak, penilaian DEMATEL ini juga dipengaruhi oleh hasil golongan tersebut dan penilaian ini dilakukan dengan cara *Focus group discussion* (FGD) untuk mendapatkan hasil kesepakatan bersama.

	A	B	C	D	E
A					
B	4				
C				3	
D		3			
E			2		

Ini berarti :

- Faktor B memberikan pengaruh sangat tinggi terhadap faktor A
- Faktor C memberikan pengaruh tinggi terhadap faktor D
- Faktor D memberikan pengaruh tinggi terhadap faktor B
- Faktor E memberikan pengaruh sedang terhadap faktor C

No.	Nama Responden	Jabatan	Lama Kerja	Pendidikan Akhir
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

Berikut dibawah ini indikator yang akan dibandingkan :

	Kualitas sumber air memburuk	Kerusakan komponen mekanis	Kesalahan operasional	Kegagalan kontrol kualitas	Bahan yang tidak benar
Kualitas sumber air memburuk					
Kerusakan komponen mekanis					
Kesalahan operasional					
Kegagalan kontrol kualitas					
Bahan yang tidak benar					

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## LAMPIRAN 2

### HASIL KUISIONER DEMATEL

	Kualitas sumber air memburuk (X1)	Kerusakan komponen mekanis (X2)	Kesalahan operasional (X3)	Kegagalan kontrol kualitas (X4)	Bahan yang tidak benar (X5)
Kualitas sumber air memburuk (X1)		3	1	3	1
Kerusakan komponen mekanis (X2)	1		4	4	4
Kesalahan operasional (X3)	2	3		4	4
Kegagalan kontrol kualitas (X4)	3	3	3		4
Bahan yang tidak benar (X5)	1	2	3	3	

Sumber : FGD di IPA (2018)

No.	Nama Responden	Jabatan	Lama Kerja	Pendidikan Akhir
1.	A. Malik .BS	Kepala seksi produksi	10 tahun	SMA
2.	Syaiful Salamun	Operator produksi	4 tahun	Sarjana
3.	Bustang	Operator produksi	9 tahun	STM
4.	Ansal	Operator produksi	4 tahun	SMA
5.	Muslan Mustafa	Operator produksi	7 tahun	SMA

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir pada 31 Januari 1994 di Kendari. Penulis merupakan anak kedua dari pasangan Asmuddin dan Salwiah. Penulis menyelesaikan masa studinya di TK Nur Ihsan Bone-bone (2000), SDN UKU 03 Pagi Jakarta Timur (2006), SMPN 97 Jakarta Timur (2009), kemudian melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Baubau dengan jurusan ilmu pengetahuan alam (2012).

Penulis diterima sebagai mahasiswi Teknik Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang pada tahun 2012 melalui jalur seleksi Cerdas Sultraku dan meraih gelar Sarjana Teknik (ST) dengan skripsi berjudul “Identifikasi Postur Kerja dengan Metode Owas untuk Memperbaiki Postur Kerja Guna Mengurangi *Musculoskeletal Disorder*” dibawah bimbingan Bapak Irwan Sukendar, ST., MT dan Ibu Ir. Hj. Eli Mas’idah, MT.

Penulis sempat magang di perusahaan furniture PT. CEGEONE Semarang pada bagian produksi dan melakukan penghematan waktu produksi. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan magisternya di Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2017 dibidang manajemen kualitas dan manufaktur. Penulis memiliki keterkaitan penelitian dalam bidang manajemen risiko (*Risk Manajement*) dan pengambilan keputusan. Penulis dapat dihubungi melalui emailnya yaitu spalanzani06@gmail.com.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)