



UMSIDA PRESS

MANAJEMEN OPERASIONAL UTILITAS AIR MINUM PERPIPAAN DALAM PENGENDALIAN NON- REVENUE WATER



Penulis :
Rita Ambarwati
Widyo Nugroho
Wiwik Sulistiyowati
Kusno

**MANAJEMEN OPERASIONAL
UTILITAS AIR MINUM PERPIPAAN
DALAM PENGENDALIAN *NON-REVENUE*
*WATER***

Penulis:
Rita Ambarwati
Widyo Nugroho
Wiwik Sulistiyowati
Kusno



APPTI Member Number : 002.018.1.09.2017
IKAPI Member Number : 218/Anggota Luar Biasa/JTI/2019

Diterbitkan oleh
UMSIDA PRESS
Jl. Mojopahit 666 B Sidoarjo
ISBN: 978-623-464-120-2
Copyright©2024.
Authors
All rights reserved

Manajemen Operasional Utilitas Air Minum Perpipaan Dalam Pengendalian Non-Revenue Water

Penulis: Rita Ambarwati;Widyo Nugroho;Wiwik Sulistiyowati;
Kusno

ISBN: 978-623-464-120-2

Editor: M. Tanzil Multazam,M.Kn & Mahardika Darmawan
Kusuma Wardana,M.Pd.

Copy Editor:Wiwit Wahyu Wijayanti

Design Sampul dan Tata Letak: Wiwit Wahyu Wijayanti

Penerbit: UMSIDA Press

Redaksi: Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Jl. Mojopahit No
666B Sidoarjo, Jawa Timur

Cetakan Pertama, Agustus 2024

Hak Cipta © 2024 Rita Ambarwati;Widyo Nugroho;Wiwik S; Kusno

Pernyataan Lisensi Atribusi Creative Commons (CC BY)

Konten dalam buku ini dilisensikan di bawah lisensi Creative Commons
Attribution 4.0 International (CC BY).

Lisensi ini memungkinkan Anda untuk:

Menyalin dan menyebarluaskan materi dalam media atau format apa pun
untuk tujuan apa pun, bahkan untuk tujuan komersial.

Menggabungkan, mengubah, dan mengembangkan materi untuk tujuan apa
pun, bahkan untuk tujuan komersial. Pemberi lisensi tidak dapat mencabut
kebebasan ini selama Anda mengikuti ketentuan lisensi.

Namun demikian, ada beberapa persyaratan yang harus Anda penuhi dalam
menggunakan buku ini: Atribusi - Anda harus memberikan atribusi yang
sesuai, memberikan informasi yang cukup tentang penulis, judul buku, dan
lisensi, dan menyertakan tautan ke lisensi CC BY.

Penggunaan yang Adil - Anda tidak boleh menggunakan buku ini untuk
tujuan yang melanggar hukum atau melanggar hak-hak orang lain. Dengan
menerima dan menggunakan buku ini, Anda setuju untuk mematuhi
persyaratan lisensi CC BY sebagaimana diuraikan di atas.

Catatan : Pernyataan hak cipta dan lisensi ini berlaku untuk buku ini secara
keseluruhan, termasuk semua konten yang terkandung di dalamnya, kecuali
dinyatakan lain. Hak cipta situs web, aplikasi, atau halaman eksternal yang
digunakan sebagai contoh dipegang dan dimiliki oleh sumber aslinya

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah yang berjudul "**Manajemen Operasional Utilitas Air Minum Perpipaan dalam Pengendalian Non-Revenue Water**" ini dengan baik dan lancar.

Karya tulis ini disusun sebagai bentuk kontribusi pemikiran terhadap upaya peningkatan efisiensi dan efektivitas pelayanan air minum, khususnya dalam pengelolaan sistem perpipaan yang berorientasi pada pengendalian *Non-Revenue Water* (NRW). Permasalahan NRW merupakan tantangan utama yang dihadapi oleh banyak utilitas air minum di Indonesia, baik dari segi teknis, manajerial, maupun finansial. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan yang holistik dan terintegrasi dalam manajemen operasional untuk menekan tingkat kehilangan air dan meningkatkan keberlanjutan pelayanan kepada masyarakat.

Penulis menyadari bahwa tanpa dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, penyusunan karya tulis ini tidak akan berjalan lancar.

Penulis juga menyadari bahwa karya tulis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini di masa mendatang.

Akhir kata, semoga karya tulis ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, khususnya bagi pengelola utilitas air minum, akademisi, serta pihak-pihak yang berkepentingan dalam upaya pengelolaan air bersih yang berkelanjutan dan efisien.

Surabaya, April 2025
Penulis

Prakata Penulis

Air adalah sumber kehidupan yang vital bagi seluruh makhluk hidup. Dalam konteks modern, penyediaan air minum yang memadai dan berkelanjutan menjadi tantangan yang terus berkembang seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi. Dalam hal ini, perusahaan penyedia air minum memiliki peran penting dalam memastikan ketersediaan air minum bagi masyarakat. Namun, tantangan yang dihadapi oleh utilitas air minum tidak hanya terbatas pada penyediaan air, tetapi juga pada pengelolaan operasional yang efisien dan efektif. Salah satu isu krusial yang sering dihadapi adalah tingginya tingkat *Non-Revenue Water* (NRW), yaitu air yang diproduksi tetapi tidak menghasilkan pendapatan bagi perusahaan karena kebocoran, pencurian, atau ketidaktepatan pengukuran.

Buku ini disusun sebagai upaya untuk memberikan paparan yang komprehensif mengenai strategi dan praktik terbaik dalam pengendalian NRW dengan mengintegrasikan berbagai pendekatan manajemen operasional. Dalam buku ini, pembaca akan diperkenalkan pada berbagai studi kasus dan contoh implementasi teknologi di berbagai wilayah, termasuk strategi-strategi yang telah berhasil diterapkan untuk mengurangi NRW secara signifikan. Penulis berharap, buku ini dapat menjadi panduan praktis bagi para mahasiswa, profesional di bidang air minum, akademisi, serta pihak-pihak terkait lainnya dalam upaya mewujudkan pengelolaan air yang lebih baik dan berkelanjutan.

Sidoarjo, 22 Nopember 2024
Hormat Kami,

Penulis

Daftar Isi

PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB I AUDIT NERACA AIR	1
1.1. Neraca Air	3
1.2. Komponen Neraca Air	4
1.3. Penyusunan Neraca Air	6
1.4. Akurasi Neraca Air	8
BAB II FAKTOR-FAKTOR PENENTU NRW	19
2.1. Manfaat Memahami Faktor NRW	19
2.2. Identifikasi Faktor Penentu NRW	22
BAB III STRATEGI PENGENDALIAN NRW	33
3.1. Target Reduksi NRW	33
3.2. Komponen Reduksi NRW	35
3.3. Prinsip Dasar Strategi	37
3.4. Implementasi Strategi	39
BAB IV <i>RISK ASSESSMENT</i> PENGENDALIAN NRW	47
4.1. Identifikasi Risiko	48
4.2. Penilaian Risiko	50
BAB V PENGUKURAN PERFORMA KINERJA	57
5.1. Karakteristik Indikator Kinerja	57
5.2. Indikator Pengendalian Kehilangan Fisik	58
5.3. Indikator Pengendalian Kehilangan Komersial	64

BAB VI ADOPSI TEKNOLOGI TERKINI DALAM PENGENDALIAN NRW	69
6.1. Teknologi Terkini	70
6.2. Aplikasi Sistem Pemantauan <i>Real-Time</i>	75
6.3. Aplikasi Teknologi Geospasial	83
6.4. Aplikasi <i>Internet of Things (IoT)</i>	85
BAB VII KEBERLANJUTAN DALAM PENGENDALIAN NRW	95
7.1. Aspek Sosial	95
7.2. Aspek Ekonomi	98
7.3. Implementasi Praktik Hijau	101
7.4. Penggunaan Teknologi Efisien	105
7.5. Peran Serta Masyarakat	108
7.6. Kemitraan dan Kolaborasi	113
DAFTAR PUSTAKA	119
DAFTAR ISTILAH	127
INDEKS	139
PROFIL PENULIS	143

Daftar Tabel

Tabel 1.1.	Neraca air dengan Komponen NRW	4
Tabel 1.2.	Contoh Indikasi Akurasi Meter Air	8
Tabel 1.3.	Neraca Air NRW Kota Surabaya Tahun 2022	16
Tabel 2.1.	Faktor Penentu NRW	31
Tabel 3.1.	Analisis Volume dan Biaya Aktivitas Manajemen NRW.....	36
Tabel 4.1.	Identifikasi Risiko dan Metode <i>Assesment</i>	53
Tabel 5.1.	Rekomendasi Indikator Kehilangan Fisik.....	61
Tabel 5.2.	Matriks Target Kehilangan Fisik	63

Daftar Gambar

Gambar 3.1.	Penempatan Meter Air pada DMA.....	12
Gambar 3.1.	Identifikasi Level Ekonomi NRW	34
Gambar 3.2.	Dampak Waktu terhadap Total Volume Kerugian	37
Gambar 3.3.	Tingkat Kehilangan Air Kota Malang.....	44
Gambar 5.1.	Skema Pemilihan <i>Performance</i> <i>Indicator</i> (PI).....	58
Gambar 5.2.	Konsep ILI.....	62
Gambar 6.1.	Teknologi untuk Pengendalian NRW.....	62

Bab 1

Audit Neraca Air

Infrastruktur dalam bidang penyediaan air memiliki fungsi untuk memberikan kepastian akses masyarakat terhadap ketersediaan air. Pada kenyataannya di Indonesia, ketika ditinjau dari segi kualitas, kuantitas maupun kontinuitas, hal ini belum berjalan secara berkesinambungan. Pada sisi lain, tuntutan akan kebutuhan air yang memenuhi standar kesehatan terus mengalami peningkatan tanpa diimbangi dengan perbaikan kualitas pelayanan. Dalam pengembangan sistem penyediaan air, kehilangan air (*water losses*) merupakan faktor utama yang harus diperhitungkan agar titik-titik pelayanan tetap dapat terpenuhi secara kontinyu. Kehilangan air (*water losses*) yang dinyatakan dalam *non-revenue water* (NRW) secara umum merupakan perbedaan volume antara jumlah air yang dialirkan ke jaringan penyediaan air minum dengan jumlah air yang dikonsumsi. *International Water Association* (IWA) menyatakan bahwa parameter NRW merupakan sebuah indikator efisiensi kinerja sebuah utilitas air yang telah diberlakukan secara internasional (Farley dan Trow, 2015).

Pengelola utilitas air minum di Indonesia, yang sebagian besar merupakan badan usaha milik daerah, menghadapi kondisi tingkat kebocoran yang tinggi pada jaringan distribusi yang melemahkan kemampuan untuk menyediakan akses air yang tidak terganggu kepada penduduk. Permasalahan ini masih ditambah dengan memburuknya kualitas dan kuantitas air karena infrastruktur yang menua dan meningkatnya populasi. Di luar hal tersebut, pengelola utilitas air minum di Indonesia masih dihadapkan pada tanggung jawab untuk memastikan keberlanjutan produksi dan distribusi air dengan tarif yang terjangkau, ditambah dengan ketidakpastian akibat perubahan iklim. Mengurangi NRW akan menjadi langkah pertama untuk meningkatkan efisiensi operasional dan membangun ketahanan pasokan air minum.

Implikasi langsung dari keberadaan NRW adalah tereduksinya volume penjualan air dan meningkatnya jumlah produksi air untuk menutupi volume yang hilang. Demikian pula pada kerugian akibat kebocoran fisik, di mana risiko terjadinya kontaminasi air dan kerusakan jaringan juga akan meningkat. Saat rasio NRW berada pada tingkat tinggi secara terus-menerus seiring dengan waktu, pelanggan akan memberikan tantangan kepada pengelola utilitas air untuk memberikan tingkat layanan dan ketersediaan air yang memadai untuk mereka. Implikasi yang mungkin terjadi dapat berupa ketimpangan kesejahteraan sosial dan risiko penurunan tingkat kesehatan masyarakat akibat ketidakseragaman akses terhadap air minum (Kumar, Sunder dan Sharma, 2015).

Pemerintah Republik Indonesia menunjukkan komitmen dan kemajuan yang signifikan dalam menghadirkan air yang aman dan bersih untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat. Sebagai bagian dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020 hingga 2024, pemerintah menargetkan penyediaan layanan air perpipaan untuk 10 juta rumah tangga baru. Untuk mencapai hal ini, sejumlah kementerian dan lembaga terkait telah bekerja sama dengan mitra pembangunan dari seluruh dunia. Di antaranya, *United States Agency for International Development* (USAID) telah melaksanakan program lima tahun untuk meningkatkan akses terhadap penyediaan air dan layanan sanitasi bagi masyarakat miskin dan rentan perkotaan melalui kerjasama dengan lembaga pemerintah, penyedia layanan utilitas air dan sektor swasta. Program tersebut berhasil mengurangi NRW sebesar 3,1 % melalui metode seperti digitalisasi dan, pada gilirannya, memungkinkan tambahan 16.500 rumah tangga mengakses layanan air. Dari tahun 2019 hingga 2022, *State Secretariat for Economic Affairs* (SECO) Swiss juga bermitra dengan USAID untuk memberikan kontribusi sebesar USD 4,5 juta untuk melaksanakan program pengurangan NRW untuk tujuh Perusahaan Air Minum di Indonesia sebagai bagian dari Inisiatif *Urban Water, Sanitation and Hygiene* (IUWASH).

Meskipun sebagian besar utilitas air minum di Indonesia menggunakan besaran NRW sebagai indikator kinerja utama efisiensi, dalam praktiknya tidak sedikit pengelola utilitas dan pengambil kebijakan yang cenderung mengabaikan karena

kurangnya data dan pengetahuan untuk menentukan tingkat NRW dengan benar. Laporan audit NRW yang bernilai rendah tentunya menyenangkan bagi pengelola utilitas, namun, melaporkan tingkat NRW yang rendah, apakah karena disengaja sebagai pemberian informasi yang salah atau, mungkin karena kurangnya informasi yang akurat tidak akan membantu utilitas air dalam mengurangi biaya atau meningkatkan pendapatan. Sebaliknya, hal tersebut akan menutupi masalah nyata yang mempengaruhi efisiensi operasional utilitas air minum.

Hanya dengan pengukuran NRW dan komponennya secara akurat dan indikator kinerja yang sesuai, yang dapat mengubah volume air yang hilang menjadi nilai uang. Dengan pemahaman pengelolaan NRW yang benar maka tindakan dan keputusan yang diperlukan untuk pengelolaan dapat diambil dengan tepat. Pengelola utilitas air minum di era ini memiliki alat pengambil keputusan yang mendukung hal tersebut melalui metode perhitungan neraca air yang dikembangkan oleh IWA.

1.1 Neraca Air

Langkah pertama dalam pengendalian NRW adalah pemahaman tentang gambaran besar sistem penyediaan air yang membentuk neraca air. Metode ini disebut sebagai audit air di Amerika Serikat. Proses ini membantu pengelola utilitas untuk memahami besar, sumber, dan biaya pengendalian NRW. IWA telah mengembangkan standar internasional untuk neraca air dengan struktur dan terminologi yang telah diadopsi oleh asosiasi nasional di banyak negara di seluruh dunia, di mana (Liemberger dan Farley, 2004) :

NRW = Volume *Input* Sistem - Konsumsi Resmi yang tertagih

Dalam neraca air tersebut, NRW merupakan jumlah total air yang masuk ke dalam sistem penyediaan air dari unit produksi air (volume *input* sistem) dikurangi jumlah total air konsumen, baik industri atau domestik yang berhak untuk ditagihkan (konsumsi resmi).

Persamaan NRW tersebut berlandaskan asumsi sebagai berikut (Liemberger dan Farley, 2004) :

1. Volume *input* sistem telah diperbaiki dari kesalahan yang diketahui.
2. Periode konsumsi terukur yang ditagih untuk catatan penagihan pelanggan konsisten dengan periode volume *input* sistem.

Tabel 1.1 Neraca air dengan Komponen NRW (Farley dkk., 2008)

Volume Input Sistem	Konsumsi Resmi	Konsumsi Resmi Berekening	Konsumsi Bermeter Berekening	Air Berekening		
			Konsumsi Tak Bermeter Berekening			
		Konsumsi Resmi Tak Berekening	Konsumsi Bermeter Tak Berekening	Air Tak Berekening (NRW)		
			Konsumsi Tak Bermeter Tak Berkerening			
	Kehilangan Air	Kehilangan Air Non-Fisik	Konsumsi Tak Resmi			
			Ketidakakuratan Meter Pelanggan dan Kesalahan Penanganan Data			
					Kehilangan Air Fisik	
						Kebocoran pada Pipa Distribusi dan Transmisi
						Kebocoran dan Luapan dari Tangki-Tangki Penyimpanan Perusahaan Air Minum
		Kebocoran di Pipa Dinas hingga ke Meter Pelanggan				

Pengelola utilitas air minum dapat menggunakan neraca air untuk menghitung setiap komponen dan menentukan di mana kehilangan air terjadi, untuk kemudian memprioritaskan dan menerapkan perubahan kebijakan yang diperlukan pada praktik operasional. Komponen NRW meliputi seluruh sistem penyediaan air dari unit produksi air (yang terukur dengan meter air induk) ke meter air pelanggan. Dengan demikian pengendalian NRW menjadi tanggung jawab dari seluruh departemen operasional dan tidak hanya menjadi beban kerja satu departemen saja.

1.2 Komponen Neraca Air

Definisi singkat dari komponen neraca air diuraikan di sebagai berikut (Liemberger dan Farley, 2004) :

1. Volume *input* sistem adalah *input* volume tahunan pada sistem penyediaan air.
2. Konsumsi resmi adalah volume tahunan air tertagih dan tak tertagih yang dikonsumsi oleh pelanggan terdaftar yang secara implisit atau eksplisit diizinkan untuk melakukannya.

3. *Non-Revenue Water* (NRW) adalah perbedaan antara volume *input* sistem dan volume konsumsi resmi.
4. Kerugian komersial (*commercial losses*) terdiri dari konsumsi tidak sah dan semua kerugian akibat kesalahan data, ketidakakuratan pengukuran atau kesalahan pembacaan alat ukur.
5. Kehilangan fisik (*physical losses*) adalah volume tahunan yang hilang melalui semua jenis kebocoran (*leak*), semburan (*burst*), dan limpahan (*spill over*) pada jaringan pipa, *reservoir* layanan dan sambungan layanan, sampai dengan ke titik pengukuran pelanggan.

Di Indonesia, keberadaan informasi yang paling dasar, seperti tekanan hidraulik rata-rata, waktu pelayanan, panjang jaringan pipa, dan jumlah sambungan layanan, pada umumnya tidak tersedia secara lengkap. Proses analisis masing-masing komponen neraca air dan indikator kinerja akan mengungkap kekurangan tersebut. Pengelola utilitas kemudian harus mengambil tindakan korektif untuk menutup kesenjangan dan meningkatkan kualitas data. Penggunaan data yang tidak lengkap atau tidak akurat untuk perhitungan neraca air tidak akan menghasilkan analisis yang bermanfaat untuk pengelolaan dan perumusan kebijakan pada program pengendalian NRW (Nugroho, Iriawan dan Utomo, 2021).

Saat seluruh *input* sistem diukur, menentukan volume *input* sistem tahunan merupakan proses yang relatif mudah dilakukan. Pengelola utilitas harus mengumpulkan catatan meter secara teratur dan menghitung jumlah tahunan dari *input* sistem pelanggan. Dalam hal ini meliputi air yang berasal dari sumber milik utilitas sendiri serta air yang didapatkan dari pemasok di luar utilitas. Idealnya akurasi meter *input* diverifikasi menggunakan perangkat pengukur aliran portabel. Konsumsi terukur yang ditagih mencakup semua konsumsi air yang diukur dan dialirkan melalui jaringan ke pelanggan domestik, komersial, dan industri. Periode tagihan air yang dikonsumsi yang digunakan dalam perhitungan harus konsisten dengan periode audit dengan memprosesnya untuk jeda waktu. Pada umumnya terdapat jeda hingga 30 hari antara waktu ketika air dikonsumsi dengan periode pembacaan alat meter air pelanggan.

Pengelola harus menentukan akurasi umum dari berbagai alat meter air, baik dari konsumsi domestik dan non-domestik dengan kemungkinan batas kepercayaan 95 %, selanjutnya mengambil sampel meter kerja yang ada dari berbagai lokasi dan mengujinya pada *test rig meter* standar. Perusahaan independen dapat diminta untuk menyediakan layanan pengujian jika utilitas air tidak memiliki *tes rig meter*. Jika beberapa merek meter air pelanggan berbeda dalam operasionalnya, maka pemilihan sampel harus termasuk meter air dari setiap merek. Dalam memperkirakan kerugian komersial, data konsumsi air yang tertagih pada periode tahun berjalan dipantau dengan mendeteksi volume tertagih, catatan pembacaan dan kesalahan penanganan data. Volume konsumsi meter air yang tidak tertagih harus ditetapkan dengan menggunakan pendekatan yang serupa dengan konsumsi yang tertagih.

Konsumsi tidak bermeter yang tidak tertagih adalah segala jenis konsumsi resmi yang tidak tertagih maupun diukur. Komponen ini biasanya mencakup komponen seperti penyediaan air untuk fasilitas umum, pemadam kebakaran, penggelontoran saluran dan parit, serta pembersihan jalan. Sayangnya, dalam utilitas yang dikelola dengan baik, hal ini merupakan komponen kecil yang lazim diasumsikan terlalu tinggi. Konsumsi air tak bermeter yang tidak tertagih, secara tradisional termasuk air utilitas yang digunakan untuk tujuan operasional, misalnya untuk pembilasan pipa dan limpahan *reservoir* seringkali diasumsikan dengan jumlah yang berlebihan.

1.3 Penyusunan Neraca Air

Dalam penyusunan neraca air, pengelola utilitas air minum perlu memiliki informasi tertentu tentang sistem penyediaan air yang meliputi (Liemberger dan Farley, 2004) :

1. Volume *input* system
2. Konsumsi resmi tertagih
3. Konsumsi resmi tak tertagih
4. Konsumsi tidak resmi
5. Ketidakakuratan pengukuran dan kesalahan pengolahan data
6. Data jaringan

7. Panjang jaringan transmisi, distribusi, dan sambungan layanan
8. Jumlah sambungan terdaftar
9. Perkiraan jumlah sambungan ilegal
10. Tekanan rata-rata
11. Data kejadian kebocoran historis
12. Tingkat layanan pelanggan

Semua informasi ini membentuk dasar yang kuat untuk menyusun neraca air yang akurat dan efektif, memungkinkan pengelola utilitas air minum untuk melakukan analisis yang tepat dan membuat keputusan strategis yang berdampak positif terhadap efisiensi operasional dan pengurangan NRW. Untuk selanjutnya langkah-langkah untuk menghitung NRW menggunakan neraca air IWA meliputi (Liemberger dan Farley, 2004) :

1. Penentuan volume *input* sistem (volume produksi)
2. Penentuan konsumsi resmi
 - a. *Billed consumption* - volume total air yang tertagih, misalnya untuk pelanggan domestik dan industri.
 - b. *Unbilled consumption* - volume total air yang tak tertagih, misalnya air untuk hidran, pemadam kebakaran, dan sebagainya.
3. Analisis kerugian komersial
 - a. Kerugian akibat pencurian air dan sambungan ilegal
 - b. Kerugian akibat kesalahan pembacaan meter air
 - c. Kerugian akibat kesalahan pengolahan data
4. Perhitungan kehilangan fisik
 - a. Kebocoran pada jaringan transmisi
 - b. Kebocoran pada jaringan distribusi
 - c. Kebocoran dari *reservoir* dan limpahan
 - d. Kebocoran pada sambungan layanan pelanggan

Dalam menganalisis neraca air, IWA menyarankan hendaknya menggunakan derajat kepercayaan 95 %. Hal ini menentukan batasan di mana pengelola utilitas dapat 95 % yakin bahwa nilai sebenarnya untuk komponen tertentu tidak akurat. Meskipun neraca air adalah alat penting untuk memahami volume *input*, konsumsi, dan kerugian, kurangnya data secara umum menyebabkan masalah. Kesenjangan data membuat sulit untuk mengukur komersial

kerugian dan untuk menentukan sifat dan lokasi kehilangan fisik (Liemberger dan Farley, 2004).

Tabel 1.2 Contoh Indikasi Akurasi Meter Air (Farley dkk., 2008)

Peralatan/Metode	Kisaran Perkiraan Keakuratan
Meter Air Elektromagnetik	<0,15 - 0,5%
Meter Air Ultrasonik	0,5 - 1%
<i>Insertion Meter</i>	<2%
Meter Mekanik	1,0 - 2%
Meter Venturi	0,5 - 3%
<i>Meas Weir</i> di saluran terbuka	10 - 50%
Volume dihitung dengan kurva pompa	10 - 50%

Untuk mengatasi hal tersebut, neraca air bisa didekati dengan menggunakan cara berikut (Liemberger dan Farley, 2004) :

- 1) Analisis komponen kehilangan fisik, menggunakan informasi derajat akurasi alat ukur yang tercantum dalam Tabel 1.1.
- 2) Pengukuran kebocoran, menggunakan analisis aliran malam hari minimal (*minimum night flow*) ke *District Metered Area* (DMA).

1.4 Akurasi Neraca Air

Akurasi neraca air yang disusun oleh pengelola utilitas air minum sangat bergantung pada keakuratan data yang digunakan. Meskipun neraca air dirancang dengan metode dan analisis terbaik, jika data yang dimasukkan tidak akurat, hasil akhirnya dapat menyesatkan dan mengarah pada pengambilan keputusan yang salah. Dalam konteks ini, beberapa faktor utama memainkan peran penting dalam memastikan keakuratan neraca air. Pertama, akurasi alat dan pembacaan meter air induk, yang digunakan pada unit produksi, sangat krusial. Meter air induk yang tidak dikalibrasi dengan benar atau rusak dapat memberikan pembacaan yang salah, yang pada gilirannya akan mempengaruhi data dasar yang digunakan untuk menyusun neraca air. Selain itu, meter air pelanggan juga memiliki peran yang sama pentingnya. Pembacaan meter air yang tidak akurat,

baik karena kerusakan alat, kesalahan manusia dalam pembacaan, atau manipulasi oleh pelanggan, akan berdampak langsung pada perhitungan konsumsi air yang sebenarnya. Akibatnya, ketidaksesuaian antara data produksi dan konsumsi dapat menyebabkan neraca air yang tidak akurat. Faktor lainnya adalah akurasi data dan siklus penagihan. Proses ini melibatkan pengumpulan, pencatatan, dan pengolahan data konsumsi air pelanggan, yang harus dilakukan secara tepat waktu dan tanpa kesalahan. Jika data penagihan tidak akurat atau terdapat keterlambatan dalam siklus penagihan, ini dapat menyebabkan perbedaan yang signifikan dalam neraca air, membuat analisis menjadi tidak akurat. Dengan demikian, untuk menghasilkan neraca air yang andal dan mendukung pengambilan keputusan yang tepat, pengelola utilitas air minum harus memastikan bahwa semua komponen data, mulai dari alat pengukur hingga proses pencatatan dan penagihan, bekerja dengan tingkat akurasi yang tinggi.

Akurasi alat dan pembacaan meter air induk (pada unit produksi) dan meter air pelanggan, serta akurasi data dan siklus penagihan adalah faktor utama yang mempengaruhi akurasi neraca air dengan beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut (Farley dan Trow, 2015) :

a. Akurasi Meter Air Induk (Unit Produksi)

Akurasi meter air induk (produksi) untuk perhitungan jumlah air minum yang diproduksi sangat penting dalam analisis volume NRW. Secara umum, jumlah meter air induk pada jaringan relatif sedikit, artinya proporsi aliran yang lebih besar diukur dengan setiap meter. Ini berarti bahwa kesalahan pembacaan dan ketidakakuratan pada salah satu alat memiliki dampak besar pada total pengukuran air yang diproduksi. Jenis meter air yang berbeda, juga memiliki akurasi yang berbeda.

Semua jenis meter air yang diperinci di atas harus dikelola secara berkala untuk memastikan akurasi secara berkelanjutan. Seiring waktu, akurasi meter air ini dapat dipengaruhi oleh sejumlah faktor, misalnya kualitas air, getaran pipa, kotoran yang memasuki alat, dan kerusakan elektronik. Pengelola utilitas

harus secara teratur memeriksa akurasi fungsionalitas dan ketepatan volumetrik. Fungsionalitas sebuah meter air dapat diperiksa di lokasi dengan menggunakan peralatan kalibrasi dari pabrikan. Akurasi volumetrik dapat diperiksa menggunakan alat meter air kedua, yang umumnya berupa meter air portabel, yang diinstalasi hanya selama periode pengujian. Beberapa utilitas air memilih untuk memasang alat meter air kedua secara permanen sebagai cadangan jika alat meter air utama mengalami kerusakan. Akurasi meter air induk yang dipasang pada unit produksi adalah fondasi dari keseluruhan sistem pengukuran. Meter air ini bertanggung jawab untuk mencatat volume total air yang diproduksi dan dimasukkan ke dalam jaringan distribusi. Ketika meter air induk tidak akurat, seluruh neraca air menjadi tidak dapat diandalkan. Kesalahan pengukuran pada meter air induk dapat memberikan gambaran yang salah tentang berapa banyak air yang benar-benar diproduksi dan tersedia untuk didistribusikan. Akibatnya, langkah-langkah pengendalian NRW yang didasarkan pada data ini bisa saja tidak tepat sasaran. Untuk menghindari hal ini, pengelola utilitas air harus memastikan bahwa meter air induk dikelola dan dikalibrasi secara berkala. Pemeriksaan fungsionalitas dan ketepatan volumetrik dengan menggunakan peralatan kalibrasi atau meter air cadangan adalah praktik yang esensial untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan tetap akurat dan dapat diandalkan dari waktu ke waktu.

b. Akurasi Meter Air Pelanggan

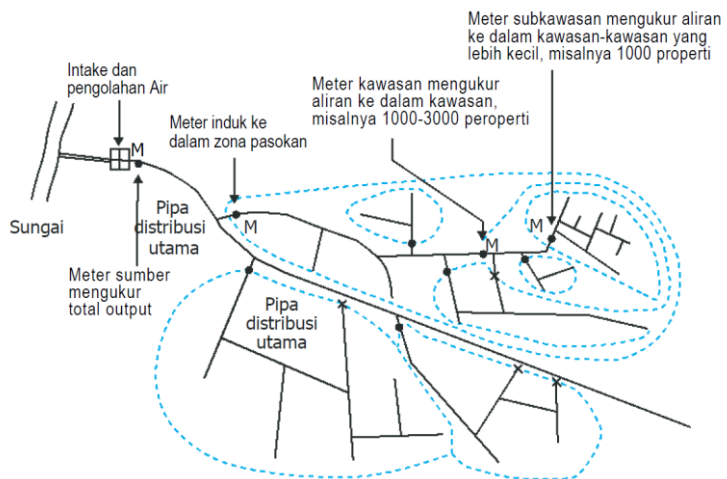
Akurasi meter air pelanggan sama pentingnya dengan meter air induk, di mana potensi selisih antara keduanya akan semakin besar dengan semakin banyak jumlah meter air pelanggan di daerah layanan yang masing-masing mengukur volume yang relatif kecil. Akurasi pengukuran meter air pelanggan tergantung pada beberapa faktor, misalnya jenis alat, merek alat, pola penggantian, pola pemeliharaan, dan kualitas air. Pengelola utilitas air harus menetapkan pedoman untuk pengamatan seluruh faktor tersebut guna memastikan akurasi data konsumsi pelanggan. Akurasi meter air pelanggan juga memainkan peran krusial dalam memastikan bahwa konsumsi air dihitung dengan

benar. Dengan ribuan bahkan jutaan pelanggan, akumulasi kesalahan kecil pada meter air pelanggan dapat berdampak besar pada perhitungan total NRW. Jika meter air pelanggan tidak diatur atau dipelihara dengan baik, perusahaan bisa mengalami kesalahan pengukuran yang signifikan, yang secara langsung mempengaruhi pendapatan. Misalnya, meter air yang cenderung mengukur lebih rendah dari penggunaan sebenarnya akan mengurangi jumlah air yang ditagih, sementara meter yang mengukur lebih tinggi bisa menyebabkan keluhan pelanggan dan penurunan kepuasan. Oleh karena itu, pengelola utilitas air perlu menetapkan pedoman ketat untuk pemeliharaan, penggantian, dan kalibrasi meter air pelanggan. Pedoman ini harus mencakup pemantauan berkelanjutan terhadap kinerja meter air, serta program penggantian yang terencana untuk memastikan bahwa alat-alat ini tetap dalam kondisi optimal.

c. Akurasi Data dan Siklus Penagihan Pelanggan

Saat menghitung nilai NRW, kebanyakan pengelola utilitas air hanya menghitung selisih antara volume produksi dengan volume konsumsi pelanggan dan kemudian merasa puas dengan hasil yang rendah. Tindakan ini berpotensi untuk mendapatkan persentase yang salah. Hal ini karena tidak sama halnya dengan meter air induk, yang biasanya dilakukan pembacaan pada hari yang sama setiap bulan, meter air pelanggan dibaca selama sebulan penuh dengan waktu yang berbeda. Informasi pada siklus penagihan rata-rata, atau interval waktu antara pembacaan meter air pelanggan sangat penting, di mana pengelola utilitas air harus memperhitungkan kesalahan pembacaan akibat meter air pelanggan yang rusak. Verifikasi data pada sistem jaringan transmisi dan distribusi air juga sangat penting dilakukan untuk memahami sumber dan lokasi kehilangan air yang mempengaruhi besaran NRW. Akurasi data dan siklus penagihan pelanggan adalah aspek lain yang tidak boleh diabaikan. Ketika data penagihan pelanggan tidak akurat atau terjadi kesalahan dalam proses pencatatan, perusahaan berisiko menghasilkan perhitungan NRW yang tidak akurat. Hal ini bisa menyebabkan perusahaan salah dalam menentukan prioritas investasi dan strategi pengendalian NRW. Misalnya, jika ada

kesenjangan waktu yang signifikan antara pembacaan meter air induk dan meter air pelanggan, atau jika pembacaan meter dilakukan pada waktu yang berbeda dalam satu siklus penagihan, maka data yang dihasilkan akan memiliki ketidakakuratan yang inheren. Untuk mengatasi masalah ini, pengelola utilitas air harus mengembangkan sistem yang memungkinkan pembacaan meter dilakukan secara konsisten dan serentak, serta memastikan bahwa semua data yang dikumpulkan diperiksa dan diverifikasi sebelum digunakan dalam analisis. Selain itu, penting juga untuk memiliki mekanisme yang kuat untuk menangani masalah seperti meter air yang rusak atau data yang hilang, sehingga dampak negatif terhadap perhitungan NRW dapat diminimalkan.



Gambar 1.1 Penempatan Meter Air pada DMA (Farley dkk., 2008)

Dengan memperhatikan faktor-faktor di atas, pengelola utilitas air dapat secara signifikan meningkatkan akurasi perhitungan neraca air dan menetapkan prioritas yang tepat dalam strategi pengendalian *Non-Revenue Water* (NRW). Ketepatan dalam mengukur volume air yang diproduksi dan dikonsumsi, serta keakuratan dalam pencatatan data dan siklus penagihan, memungkinkan perusahaan untuk

mengidentifikasi sumber-sumber kehilangan air dengan lebih baik dan mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengatasinya.

Dengan mengintegrasikan langkah-langkah ini ke dalam proses manajemen air, pengelola utilitas air dapat mengembangkan strategi pengendalian NRW yang lebih efektif dan berbasis data. Implementasi teknologi canggih, seperti meter air digital atau sistem pemantauan jarak jauh, dapat semakin meningkatkan akurasi dan efisiensi proses ini. Selain itu, dengan akurasi data yang lebih baik, perusahaan dapat lebih efektif dalam menargetkan investasi ke area yang paling membutuhkan perhatian, seperti perbaikan jaringan pipa atau pembaruan sistem distribusi. Hal ini tidak hanya akan mengurangi kerugian air dan meningkatkan pendapatan, tetapi juga memperkuat hubungan antara perusahaan dan pelanggan dengan menyediakan layanan yang lebih andal dan transparan.

Diharapkan efisiensi operasional perusahaan akan meningkat, karena air yang hilang akibat kebocoran, pencurian, atau ketidakakuratan pengukuran dapat diminimalkan. Selain itu, pengelolaan sumber daya air yang lebih baik akan memastikan bahwa air yang tersedia digunakan secara optimal, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan pendapatan perusahaan. Dengan demikian, implementasi strategi pengendalian NRW yang berbasis pada data yang akurat dan pemantauan yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam mengurangi kerugian air dan meningkatkan kinerja perusahaan utilitas air secara keseluruhan.

Pada akhirnya, perbaikan dalam akurasi neraca air dan pengendalian NRW tidak hanya meningkatkan efisiensi operasional perusahaan, tetapi juga berkontribusi terhadap keberlanjutan sumber daya air dalam jangka panjang. Dengan mengurangi kerugian air dan memastikan bahwa setiap liter air yang diproduksi digunakan secara efektif, perusahaan dapat memainkan peran penting dalam menjaga ketersediaan air minum bagi masyarakat. Keberhasilan dalam strategi ini akan menjadi cerminan dari komitmen perusahaan terhadap kualitas, efisiensi, dan pelayanan yang prima, sekaligus memberikan dampak positif yang signifikan terhadap lingkungan dan kesejahteraan masyarakat.

STUDI KASUS : KOTA SURABAYA (JAWA TIMUR)

Data yang dibutuhkan untuk perhitungan NRW mencakup informasi dari periode satu tahun, menyesuaikan dengan tahun analisis yang akan dilakukan. Data yang diperlukan tersebut antara lain mencakup (Pradana dan Yuniarto, 2023):

1. **Data Distribusi Air Bersih.**

Informasi yang mencakup volume air bersih yang didistribusikan ke jaringan pelanggan pada wilayah cakupan PDAM.

2. **Data Rekapitulasi Kubikasi Air Bersih.**

Data ini merangkum jumlah total air bersih yang didistribusikan dalam kubik (m^3) selama satu tahun.

3. **Data Rekap Jumlah Sambungan Rumah (SR).**

Data yang mencatat jumlah sambungan rumah yang dilayani oleh jaringan distribusi air, yang sangat penting untuk analisis beban distribusi serta perhitungan konsumsi.

4. **Data Rekening Ditagih (DRD).**

Data ini berisi informasi mengenai jumlah air yang berhasil ditagihkan, yang dapat menjadi indikator jumlah air yang dikonsumsi oleh pelanggan secara resmi dan menghasilkan pendapatan bagi PDAM.

Untuk melaksanakan analisis neraca air, langkah-langkah berikut perlu dijalankan secara sistematis (Pradana dan Yuniarto, 2023):

1. Pencatatan Volume Air yang Didistribusikan

Volume air yang didistribusikan adalah jumlah air bersih yang dialirkan melalui jaringan distribusi utama ke pelanggan. Jumlah ini dicatat melalui flow meter yang terpasang di Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), yang berfungsi

untuk mengukur total volume air yang dialirkan. Saat ini, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya menggunakan flow meter magnetik yang telah dikalibrasi secara akurat. Berdasarkan pembacaan flow meter magnetik ini, data volume air terdistribusi diambil dari beberapa sumber, yaitu IPAM Ngagel, IPAM Karangpilang, Sumber Air, dan Air Curah Umbulan. Selama tahun 2022, total volume air terdistribusi mencapai 366.007.023 m³.

2. Pencatatan Konsumsi Air Berekening

Konsumsi air berekening mengacu pada volume air yang digunakan oleh pelanggan, baik melalui meteran air (konsumsi bermeter) maupun konsumsi air curah, yang semuanya tercatat dan dapat ditagihkan sebagai pendapatan. Informasi ini penting karena berkaitan langsung dengan penerimaan perusahaan. Pada tahun 2022, berdasarkan Data Rekening Ditagih (DRD), konsumsi bermeter yang ditagih tercatat sebesar 252.084.020 m³, sementara konsumsi air curah yang juga ditagihkan mencapai 247.360 m³. Data ini memberi gambaran detail mengenai total air yang dikonsumsi oleh pelanggan yang menjadi sumber pendapatan PDAM Surya Sembada Kota Surabaya.

3. Pencatatan Konsumsi Air Tak Berekening Resmi

Konsumsi air tak berekening resmi adalah volume air yang digunakan untuk kegiatan yang bersifat resmi dan penting, namun tidak dikenakan tagihan. Ini termasuk penggunaan air untuk layanan publik, seperti tangki air gratis untuk masyarakat, pemadam kebakaran, kegiatan pemasangan baru, proses cuci pipa (flushing), serta kegiatan resmi lain yang bermanfaat namun tidak menghasilkan pendapatan. Pada tahun 2022, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya mencatat total konsumsi air tak berekening resmi sebesar 373.031 m³.

4. Pencatatan Konsumsi Air Tak Berekening Tak Resmi

Konsumsi air tak berekening tak resmi, atau dikenal sebagai kehilangan air komersial, mencakup segala bentuk penggunaan air yang tidak sah dan menyebabkan hilangnya potensi pendapatan. Contoh konsumsi ini termasuk pencurian air melalui sambungan ilegal (sambungan liar), penyadapan pipa PDAM, atau penggunaan air tanpa izin oleh pihak non-pelanggan. Pada tahun 2022, jumlah konsumsi tak resmi ini mencapai 717.225 m³. Data ini penting untuk memahami tingkat kebocoran air non-fisik atau komersial yang terjadi di luar pengawasan PDAM.

5. Pencatatan Ketidakakuratan Meter dan Kesalahan Penanganan Data

Ketidakakuratan dalam pembacaan meter dan kesalahan dalam pengelolaan data merupakan komponen signifikan dari kehilangan air non-fisik. Ketidakakuratan ini mungkin terjadi karena kesalahan teknis dalam pembacaan atau pencatatan, yang dapat menyebabkan perbedaan antara jumlah air yang didistribusikan dan volume yang dapat ditagihkan. Kehilangan air akibat kesalahan pembacaan meter dan kesalahan dalam pengelolaan data mencapai 28.124.340 m³. Hal ini memberikan panduan untuk mengidentifikasi area yang membutuhkan peningkatan dalam penanganan data dan kalibrasi meter.

6. Penyusunan Neraca Air Tahunan

Setelah semua data yang relevan dimasukkan berdasarkan kriteria di atas, PDAM Surya Sembada Kota Surabaya dapat menyusun neraca air tahunan yang memberikan gambaran rinci mengenai distribusi dan kehilangan air. Pada tahun 2022, total input volume air yang diterima dalam sistem adalah

sebesar 366.007.023 m³. Dari jumlah tersebut, air yang berhasil ditagihkan dan menjadi pendapatan PDAM adalah sebesar 252.331.380 m³. Sementara itu, total air tak berekening yang tidak dapat menjadi sumber pendapatan tercatat sebesar 113.675.643 m³. Data ini memberikan panduan komprehensif untuk menilai kinerja distribusi, tingkat efisiensi, dan area yang memerlukan perbaikan guna mengurangi NRW.

Tabel 1.3 Neraca Air NRW Kota Surabaya Tahun 2022 (Pradana dan Yuniarto, 2023)

Volume Input Sistem 366.007.023 m³/tahun	Konsumsi Resmi 252.704.411 m³/tahun	Konsumsi Resmi Berekening 252.331.380 m³/tahun	Konsumsi Bermeter Berekening 252.084.020 m³/tahun	Air Berekening 252.331.380 m³/tahun
			Konsumsi Tak Bermeter Berekening 247.360 m³/tahun	
	Kehilangan Air 113.302.612 m³/tahun	Konsumsi Resmi Tak Berekening 373.031 m³/tahun	Konsumsi Bermeter Tak Berekening	Air Tak Berekening 113.675.643 m³/tahun
			Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening 373.031 m³/tahun	
		Kehilangan Air Non Fisik 28.841.565 m³/tahun	Konsumsi Tak Resmi 717.225 m³/tahun	
			Ketidakkuratan Meter dan Penanganan Data 28.124.340 m³/tahun	
	Kehilangan Air Fisik 84.461.047 m³/tahun			

Intisari Bab 1 :

1. **Peran NRW dalam Efisiensi Utilitas Air:** Kehilangan air atau Non-Revenue Water (NRW) menjadi faktor penting dalam efisiensi operasional dan kinerja utilitas air, mempengaruhi ketersediaan dan keberlanjutan layanan air. NRW yang tinggi mengurangi volume penjualan dan meningkatkan biaya produksi, serta

berisiko menciptakan ketimpangan sosial dan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat.

2. **Pentingnya Pengukuran dan Neraca Air yang Akurat:** Dalam pengelolaan NRW, utilitas air membutuhkan neraca air yang akurat untuk memahami volume kehilangan air dan sumber-sumbernya. Neraca air memerlukan data yang lengkap dan tepat, yang mencakup input sistem, konsumsi resmi, serta kehilangan fisik dan komersial, yang harus dikelola dan dilaporkan dengan benar untuk efektivitas.
3. **Peningkatan Akurasi Data dan Perangkat:** Akurasi alat ukur, seperti meter air induk dan meter pelanggan, serta proses penagihan yang tepat waktu dan akurat, sangat penting untuk memastikan keandalan neraca air. Ketidakakuratan data atau alat ukur dapat menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan strategis bagi pengelola utilitas.
4. **Upaya Terpadu dan Berkelanjutan:** Pengelolaan NRW tidak hanya menjadi tanggung jawab satu departemen, tetapi memerlukan keterlibatan berbagai bagian operasional utilitas untuk memastikan pengukuran yang konsisten, sehingga langkah-langkah pengendalian yang diterapkan efektif dalam meningkatkan efisiensi dan ketahanan pasokan air.

Bab 2

Faktor Penentu NRW

Dalam sistem penyediaan air, setiap saat, selama operasional, utilitas mengalami kehilangan volume air. Kebocoran air dapat terjadi selama pemompaan, penyimpanan, transmisi dalam pipa utama atau dalam jaringan distribusi yang menjadi penyebab dari kerugian ini. Faktor-faktor lain yang dapat memperbesar kehilangan air adalah pencurian atau sambungan ilegal dan ketidakakuratan pengukuran. Di sisi lain, pengelola utilitas air bersih tidak dapat menghitung atau melakukan penagihan kuantitas yang dikonsumsi oleh entitas tertentu, seperti fasilitas publik. Oleh karena itu, total volume NRW dapat dilihat sebagai akumulasi dari kebocoran, sambungan ilegal, ketidakakuratan pengukuran dan konsumsi tidak tertagih (Alegre, 2009). Bab ini akan membahas praktik terbaik dari kasus di beberapa kota pada berbagai negara selain tentunya kisah keberhasilan pengendalian NRW di Indonesia.

2.1 Manfaat Memahami Faktor NRW

Volume NRW di tingkat global menunjukkan angka yang mencengangkan. Setiap tahun lebih dari 32 milyar m³ air yang sudah diolah, hilang karena kebocoran di jaringan distribusi. Sementara, 16 milyar m³ lainnya tersalurkan ke pelanggan tanpa bisa ditagih karena pencurian air, pembacaan meter yang tidak akurat, atau korupsi. Sebuah perkiraan konservatif dari *World Bank* tentang biaya tahunan total yang harus ditanggung oleh perusahaan air minum di seluruh dunia adalah USD 14 milyar. Di sejumlah negara berpenghasilan rendah, kerugian ini mewakili 50 hingga 60% dari pelayanan air dengan

perkiraan kehilangan global sekitar 35%. Diperkirakan apabila dilakukan penghematan separuh dari jumlah ini akan memiliki implikasi pertambahan pelayanan air kepada 100 juta penduduk lainnya tanpa investasi lebih lanjut Menurut *World Bank*, dengan reduksi volume NRW setengah dari saat ini, dapat menghasilkan perkiraan USD 2,9 miliar dalam bentuk tunai dan melayani tambahan 90 juta pelanggan. Diperkirakan biaya yang timbul akibat NRW setiap tahun di dunia adalah USD 141 miliar. Sebuah kisah sukses yang luar biasa terjadi di Kota Phnom Penh, Kamboja, di mana NRW dapat dikurangi dari 72% menjadi hanya 6% dalam jangka waktu lima belas tahun, yang secara langsung mempengaruhi profitabilitas utilitas air. Sementara itu, Vietnam, menerapkan pendekatan yang berbeda, di mana dilakukan kerjasama dengan pihak swasta dengan kontrak berbasis kinerja untuk mengurangi NRW sebagai atas prakarsa dari *World Bank*. Penerapan program tersebut di Kota Ho Chi Minh, Vietnam selama enam tahun, dapat membantu menghemat 122 juta liter air per hari dan pengeluaran modal lebih dari USD 100 juta dengan mereformasi dan memulihkan jaringan air. Program ini juga meningkatkan pasokan air dan meningkatkan tingkat persentase layanan kepada pelanggan. Dibandingkan dengan kegiatan serupa di wilayah lain di Vietnam yang menggunakan pendekatan kontrak yang lebih tradisional, kegiatan pengurangan NRW di kota Ho Chi Minh diselesaikan lebih cepat dan lebih efektif dalam mengurangi kehilangan air dan biaya operasional (Farley dkk., 2008).

Kisah keberhasilan program pengendalian NRW di Indonesia dapat kita temui di Kota Malang, Jawa Timur. Melalui kombinasi antara beberapa program strategis, komitmen investasi, dan penggunaan solusi digital, PDAM Kota Malang selaku pengelola utilitas air bersih di kota ini mampu mengurangi NRW sebesar 28% dari angka awal 42% di Tahun 2012 menjadi 14 % di Tahun 2022 dalam tempo 10 tahun. Hal ini tentunya adalah sebuah pencapaian yang membanggakan, di mana saat ini keseluruhan persentase nasional di

Indonesia secara rerata mencapai angka 37%, sementara persentase kehilangan air di seluruh dunia mencapai rerata 35%. Pengurangan NRW dalam 10 tahun tidak hanya meningkatkan akses dan keandalan pasokan air minum bagi masyarakat, tetapi kota ini juga telah menghemat rata-rata 10 juta m³ air per tahun.

Rasio NRW merupakan penentu yang signifikan untuk perhitungan biaya unit layanan air, di mana penurunan 10% NRW dapat menghemat 3% di setiap unit biaya air. Hasil yang mencengangkan ditemukan paling signifikan pada variabel konsumsi air per kapita. Jika sebuah utilitas air berfungsi dengan 10% lebih tinggi per kapita, maka biaya akan berkurang sekitar 8%. Dapat disimpulkan bahwa terdapat hubungan negatif antara biaya per unit air dan volume konsumsi di satu sisi serta tingkat NRW dan biaya per unit air dari sisi lain. Beberapa utilitas air tidak mempertimbangkan faktor NRW dalam biaya satuan selama proses penetapan harga. Padahal dengan lebih tinggi harga, semakin banyak investasi yang mungkin mengarah pada depresiasi NRW. Di mana ukuran dan struktur penyedia layanan memiliki dampak pada persentase NRW (Liemberger dan Farley, 2004).

Di sisi lain, keberadaan NRW dapat meningkatkan biaya untuk menangani kebocoran di jaringan pipa transmisi dan distribusi. Akibatnya, keberlanjutan anggaran perusahaan pengelola utilitas akan terpengaruh (Schwartz, Tutusaus dan Savelli, 2017). Para peneliti menyelidiki penyebab tingginya NRW dan menemukan bahwa kurangnya insentif dalam pencapaian target, korupsi manajemen utilitas dan politis serta kurangnya kesadaran bagi pelanggan memberikan pengaruh pada tingkat NRW. Pada sisi ini, pelanggan seringkali mengabaikan konservasi air karena anggapan bahwa nilai air yang rendah dan dapat mendorong pelanggan untuk mengabaikan kebocoran. Dalam hal ini, untuk mengurangi jumlah NRW, pengelola utilitas air biasanya berusaha meningkatkan pendapatan untuk mengantisipasi biaya

operasional dan perawatan yang membengkak (Liemberger dkk., 2016).

Dari sudut pandang keuangan, tingkat NRW yang tinggi secara terus-menerus akan mempengaruhi performa pengelola utilitas air pada tiga hal utama (Farley dkk., 2008) :

1. Berkurangnya pendapatan operasional. Sebagai contoh, faktur penjualan air tidak akan dikeluarkan sebagai akibat dari konsumsi yang tidak tertagihkan atau tidak terukur.
2. Membengkaknya biaya produksi, operasional dan pemeliharaan. Sebagai contoh, biaya gaji, listrik, dan biaya kimia untuk penjernihan air.
3. Membengkaknya jumlah investasi dan alokasi anggaran untuk pengeluaran modal, di mana jumlah modal tambahan harus dihabiskan untuk investasi fasilitas. Investasi tersebut terutama untuk memenuhi peningkatan permintaan dan kompensasi terhadap menurunnya kondisi lingkungan, selain peningkatan biaya produksi dan distribusi air.

Tiga hal utama tersebut memiliki dampak besar pada pengelola utilitas air di mana yang paling signifikan yakni pengurangan laba yang tentunya akan mempengaruhi keberlangsungan perusahaan. Dengan berpijak pada fakta di mana pencapaian profit adalah aspek kunci untuk mempertahankan kelayakan keuangan dan keberlanjutan pengelolaan, maka tak pelak lagi, NRW merupakan indikator yang cukup obyektif untuk penilaian kinerja pengelolaan utilitas air, di mana tingkat NRW yang tinggi akan menunjukkan kinerja yang buruk.

Di sisi lain, sedemikian banyak manfaat dari pengurangan kehilangan air di antaranya adalah (Farley dan Liemberger, 2005):

1. Pengelola utilitas air bersih mendapatkan dana tambahan dalam bentuk perputaran uang yang dihasilkan sendiri (*self-generated cash flow*)

2. Pengelola utilitas air minum mengurangi sambungan-sambungan ilegal sehingga menciptakan keadilan antar para pengguna
3. Kinerja pengelola utilitas air minum yang lebih efisien dan berkelanjutan bisa meningkatkan layanan air minum kepada pelanggan
4. Peluang-peluang usaha baru menciptakan lebih banyak lagi lapangan pekerjaan bagi masyarakat

2.2 Identifikasi Faktor Penentu NRW

Para peneliti dari berbagai negara juga telah mengusulkan sistem klasifikasi faktor NRW yang efektif dalam jaringan distribusi air minum. Klasifikasi faktor yang digunakan secara garis besar meliputi faktor fisik, operasional, dan sosial ekonomi. Selanjutnya diperlukan standar yang tepat dalam mengklasifikasikan parameter utama. Standar yang memadai adalah hal yang wajib dimiliki ketika mengklasifikasikan parameter jaringan distribusi air yang dipilih dari para peneliti atau berbagai organisasi. Parameter yang terkait dengan NRW diperiksa sehubungan dengan parameter fisik, operasional, dan sosial ekonomi. Parameter efektif untuk NRW dipilih sesuai dengan sistem klasifikasi yang dikembangkan dari parameter utama. Dalam penelitian yang dilakukannya, Dongwoo Jang (2018) menetapkan tiga kriteria untuk menyusun parameter yang berpengaruh terhadap NRW sebagai berikut (Jang, 2018):

Pertama, berkaitan dengan sifat-sifat dari parameter ketika menentukan apakah parameter yang terkait dengan jaringan air minum lebih sesuai untuk faktor fisik, operasional, atau sosial ekonomi dan mengklasifikasikannya menjadi salah satu dari tiga parameter ini.

Kedua, perlu mempertimbangkan ketersediaan data dan karakteristik data dengan mempertimbangkan ruang lingkup cakupan area yang dalam hal ini harus memungkinkan untuk

mengukur parameter yang dipilih, meliputi apakah data valid yang dikumpulkan secara numerik dan apakah data itu dapat digunakan sebagai standar untuk penilaian atau perbandingan antar daerah yang harus diperiksa. Bagian kuantifikasi dari data kualitatif NRW adalah penting dan perlu digunakan sesuai dengan standar yang ditetapkan. Lebih banyak faktor dapat digunakan tergantung pada yang dipilih, dan ditemukan bahwa prediksi NRW yang mencerminkan karakteristik regional adalah hal yang memungkinkan.

Di negara maju, pengelolaan dan pengendalian NRW didukung oleh keberadaan infrastruktur dan pelaksanaan operasional yang memadai serta didukung oleh kesadaran bahwa rasio NRW merupakan parameter yang penting bagi kinerja pengelola utilitas air bersih. Para peneliti di Korea Selatan misalnya, menyadari bahwa NRW merupakan parameter penting untuk penetapan prioritas perbaikan sistem distribusi air. Untuk itu, beberapa peneliti di Korea Selatan melakukan identifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi kehilangan air. Sedemikian pentingnya, hingga dalam penelitian yang dilakukan di Kota Incheon, Korea Selatan, Dongwoo Jang dan Gyeewon Choi (2017) menerapkan metode dengan akurasi tinggi yakni Artificial Neural Network (ANN) untuk meningkatkan akurasi perhitungan dan mengidentifikasi parameter yang mempengaruhi rasio NRW secara signifikan. Terdapat dua klasifikasi parameter yang ditetapkan, meliputi parameter operasional yang terdiri atas rasio kebutuhan energi dan jumlah kebocoran jaringan, serta parameter fisik yang terdiri atas diameter pipa, panjang pipa per jumlah sambungan layanan, debit air suplai per sambungan layanan, serta rasio deteriorasi pipa. Dalam studi yang dilakukan di Kota Incheon tersebut, Dongwoo Jang dan Gyewoon Choi (2017) melakukan estimasi rasio NRW menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Multivariate Regression Analysis* (MRA) dengan

memasukkan parameter spesifik yang mempengaruhi frekuensi kebocoran dalam sistem distribusi air. Studi ini dilakukan dengan tahap awal dilakukan penggunaan MRA dan ANN untuk memperkirakan rasio NRW, kemudian membandingkan hasil dari kedua metode tersebut. Penilaian akurasi menunjukkan bahwa model ANN memiliki akurasi prediksi yang lebih tinggi daripada MRA. Hasil penelitian ini untuk selanjutnya menjadi model untuk memperkirakan rasio NRW menggunakan ANN berdasarkan parameter tertentu yang mempengaruhi kebocoran dalam sistem distribusi air di Kota Incheon, Korea Selatan. Penilaian akurasi dan analisis persebaran plot digunakan untuk memilih kasus model ANN yang optimal, yang dalam hal ini adalah parameter khusus yang mempengaruhi kebocoran dalam sistem distribusi. Dalam penelitian tersebut, Dongwoo Jang dan Gyewoon Choi (2017) mendapatkan hasil bahwa jumlah produksi air minum per sambungan layanan dan rasio deteriorasi pipa merupakan faktor utama yang berpengaruh paling signifikan terhadap keberhasilan pengendalian NRW (Jang dan Choi, 2017a).

Dongwoo Jang (2018), mengusulkan tiga kriteria sebagai faktor independen yang mempengaruhi besar NRW. Sistem klasifikasi faktor didasarkan pada sifat inheren dari parameter. Dongwoo Jang (2018) menyarankan jika parameter yang terkait dengan jaringan distribusi air minum lebih sesuai menggunakan parameter fisik, operasional, atau sosial ekonomi dan mengklasifikasikan menjadi salah satu dari tiga kelompok ini, di mana ruang lingkup cakupan, ketersediaan data, dan karakteristik data dipertimbangkan. Ketika data diperoleh, karakteristik regional dapat diidentifikasi berdasarkan apakah data batas dibagi menjadi wilayah administrasi atau zona layanan. Kuantifikasi data untuk pemilihan parameter dimungkinkan dengan pertimbangan apakah data yang dikumpulkan valid secara numerik dan dapat digunakan sebagai standar untuk perbandingan atau penilaian

wilayah yang dianalisis. Jika parameter yang ditunjuk hanya mengungkapkan karakteristik kualitatif yang tidak dapat dikuantifikasi, maka akan sulit untuk menerapkannya dalam pengendalian NRW. Sistem klasifikasi parameter dikembangkan secara obyektif sesuai dengan karakteristik masing-masing parameter, dan ini memungkinkan untuk mempertimbangkan semua parameter jaringan distribusi air yang disarankan oleh lembaga internasional dan peneliti sebelumnya (Jang dan Choi, 2017b).

Parameter fisik seperti rata-rata diameter pipa, panjang pipa, jumlah sambungan layanan, panjang pipa per sambungan layanan, jumlah pasokan air per sambungan layanan, dan rasio deteriorasi pipa telah direkomendasikan dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Dongwoo Jang dan Gyewoon Choi (2017). Jika digunakan untuk pengendalian NRW, maka jumlah produksi air dan rasio deteriorasi pipa merupakan parameter yang berpengaruh dominan. Selain itu juga terdapat parameter tidak langsung yang terkait dengan NRW meliputi parameter sosial dan ekonomi. Apabila NRW dianalisis berdasarkan pada data hasil pengukuran, maka sulit untuk memasukkan parameter sosial dan ekonomi ke dalam analisis. Sedangkan pada kenyataannya parameter fisik dan operasional secara tidak langsung dipengaruhi oleh parameter sosial dan ekonomi, dengan demikian, karakteristik regional dan faktor sosial ekonomi harus dipertimbangkan ketika mengevaluasi data operasional (Jang, 2018).

Berbeda dengan penelitian Dongwoo Jang (2018), penelitian yang dilakukan oleh Jang, Park dan Choi (2018) tidak memperhitungkan parameter tak langsung. Studi ini berfokus pada parameter fisik dan operasional yang terkait dengan sistem distribusi air. Parameter fisik dipertimbangkan, dan data yang diukur seperti jumlah kebocoran juga digunakan untuk mengelola NRW. Komponen neraca air dalam sistem distribusi air dapat dihitung menggunakan data yang diukur secara nyata

tetapi sulit untuk melakukannya dalam sistem distribusi air karena zona layanan yang tidak dibangun dan kesalahan desain dalam sistem distribusi air. Selain itu, manajemen berkala merupakan elemen penting dalam sistem distribusi air termasuk identifikasi pipa bocor, manajemen tekanan hidrolik, dan operasi pompa yang tepat. Di bawah perhitungan NRW konvensional, pertimbangan parameter fisik lebih diutamakan daripada parameter sosial ekonomi. Jika parameter fisik hanya digunakan untuk menghitung NRW, ini dapat mengurangi biaya ekonomi untuk mengukur NRW dan membantu dalam memilih pemeliharaan zona layanan dalam sistem distribusi air (Jang, Park and Choi, 2018).

Pada negara berkembang, alih-alih mengelola kehilangan air secara efektif, bahkan untuk memastikan bahwa para pelanggan mendapatkan pasokan air minum yang aman dalam jumlah yang cukup pun diperlukan kerja keras. Ditambah lagi, dengan permasalahan distribusi di mana air hasil pengolahan yang kemudian disalurkan melalui jaringan distribusi yang tidak memadai, dengan sistem pencatatan yang lemah, serta tidak didukung oleh tingkat kemampuan teknis dan teknologi yang memenuhi ketentuan teknis. Sistem penetapan tarif dan kebijakan pengumpulan pendapatan seringkali tidak mencerminkan nilai yang sesungguhnya dari air yang disuplai, sehingga akan membatasi pendapatan perusahaan sehingga para pelanggan akan mendapat kualitas layanan yang rendah. Hal ini disebabkan tidak semua kota atau regional, khususnya di negara berkembang, mempunyai prasarana dan prosedur operasional yang memenuhi syarat dalam penanganan kehilangan air. Pengelola utilitas air bersih di negara berkembang saat ini masih berjuang untuk memastikan bahwa para pelanggan mendapatkan layanan air yang cukup untuk menjaga kesehatan dan kebutuhan hidup sehari-hari. Di Indonesia, kebocoran yang tinggi pada jaringan distribusi juga melemahkan kemampuan perusahaan air minum untuk

menyediakan akses air minum yang tidak terganggu kepada penduduk. Infrastruktur air yang dikelola dengan standar yang berkelanjutan dapat berdampak signifikan terhadap kesejahteraan sosial penduduk. Di atas pasokan air yang terputus-putus atau tidak ada sama sekali, pipa yang bocor dapat menyebabkan air tanah atau saluran pembuangan yang terkontaminasi masuk ke pipa distribusi selama gangguan pasokan dan periode tekanan tinggi. Perubahan iklim dan peningkatan suhu global telah menyebabkan peningkatan konsumsi air dan tekanan pada sumber air tawar di seluruh dunia. Hal ini diperparah dengan banyaknya air yang hilang melalui NRW. Ketika kehilangan air dihindari, lebih banyak air tersedia tanpa pengembangan sumber air baru. Negara-negara seperti Indonesia tidak kebal terhadap tantangan ini, yang membuat perlunya pengurangan NRW menjadi tantangan nasional yang penting. Di sisi lain, pengelola utilitas air di Indonesia menghadapi biaya modal awal yang tinggi dan kurangnya insentif keuangan untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan pengurangan NRW jangka panjang.

Tantangan yang dihadapi oleh pengelola utilitas air bersih di negara berkembang secara umum adalah sebagai berikut (Farley dkk., 2008):

- a. Tingkat urbanisasi yang cepat
- b. Semakin berkurangnya pasokan air
- c. Polusi lingkungan yang berpengaruh terhadap sumber air
- d. Infrastruktur yang sudah menua
- e. Operasional dan kebijakan pemeliharaan yang buruk, termasuk sistem pencatatan yang tidak efektif
- f. Keterampilan teknis dan teknologi yang tidak memadai
- g. Kendala keuangan yang lebih besar, termasuk struktur tarif dan kebijakan pengumpulan pendapatan yang tidak sesuai
- h. Pengaruh politik, budaya, dan sosial
- i. Kejadian kehilangan air non fisik yang lebih tinggi, khususnya berkaitan dengan keberadaan sambungan ilegal

Permasalahan administrasi secara langsung juga dapat berdampak pada biaya energi dan layanan air pada pengelolaan utilitas. Keterampilan staf, produktivitas kerja dalam penanganan kebocoran dan kecermatan pembacaan meter merupakan faktor penentu untuk mengurangi persentase NRW di negara-negara Eropa Timur. Di sini, para peneliti menemukan bahwa konsumsi air per orang, biaya produksi per sambungan, jumlah populasi, kepadatan sambungan pada jaringan, biaya operasional per m³ air yang terjual, merupakan variabel yang berpengaruh pada peningkatan persentase NRW (Murrar, 2017).

Di Kota Livingstone, Zambia di mana nilai rasio NRW mencapai 43 persen, uniknya ditemukan bahwa tidak terdapat pola khas bagi kecenderungan rasio NRW dan faktor kontribusi utama adalah kehilangan fisik di jaringan akibat konsumsi yang ilegal. Di Kota Garissa, Kenya, terdapat tiga komponen utama yang mempengaruhi NRW, meliputi pencatatan volume air yang tidak tepat terutama berkaitan dengan malfungsi dan akurasi alat ukur yang rendah, kehilangan air fisik di jaringan distribusi, dan konsumsi ilegal pada jaringan pipa pelanggan. Tiga strategi utama yang direkomendasikan pada kedua kota tersebut untuk mengurangi NRW meliputi penerapan zonasi dalam pemantauan kehilangan air, peningkatan kualitas staf operasional dan pemeliharaan serta penancangan program penggantian alat ukur dengan tipe dan jenis yang memiliki akurasi yang lebih tinggi. Ketidakpedulian masyarakat pada kehilangan air ditemukan menjadi tantangan utama yang dihadapi dalam program pengurangan kehilangan air yang berkaitan dengan sambungan ilegal. Dari temuan tersebut, para peneliti merekomendasikan penggantian keseluruhan alat ukur berkualitas tinggi untuk semua konsumen yang terhubung, melakukan peningkatan kesadaran publik dengan berbagai program peningkatan partisipasi masyarakat dalam

pengurangan kehilangan air, dan peningkatan kualitas penagihan serta pengalihan pembayaran ke sistem terdigitalisasi untuk mengurangi dapat mengurangi rasio NRW dari 45 % menjadi 25 % (Liemberger dkk., 2016).

Sayangnya, pola pendekatan tersebut diadopsi secara tidak tepat oleh pengelola utilitas air bersih di Kota Accra, Ghana di mana sebagian besar kehilangan air dalam sistem ini berasal dari kehilangan fisik dan sambungan ilegal. Hal tersebut karena sebagian besar perhatian pengelola lebih terfokus pada kehilangan fisik dan bukan merupakan pendekatan terbaik yang menghasilkan pencapaian hasil yang dibutuhkan, dalam hal ini adalah strategi manajemen infrastruktur air minum, yang merupakan komponen komprehensif (Liemberger dkk., 2016). Kesulitan akan dihadapi ketika komponen ini harus dikelola oleh beberapa bagian yang berbeda secara parsial dengan mencoba mencapai tujuan yang sama. Efektivitas kemampuan masing-masing bagian untuk mengelola infrastruktur dalam pengelolaan kehilangan air adalah dasar yang direkomendasikan untuk menilai tingkat kehilangan air dalam infrastruktur penyediaan air minum. Tetapi di sisi lain ditemukan kendala kurang adanya pengawasan dan standar untuk pemenuhan persyaratan dan ketentuan dalam pelaksanaan program. Aspek-aspek tertentu dari kontrak yang dibebankan kepada pihak pengelola tidak menawarkan insentif untuk pengendalian NRW yang efektif terutama pada aspek yang berkaitan dengan manajemen infrastruktur. Dari kondisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa masih rendahnya kesadaran pengelola akan pentingnya manfaat pengurangan kehilangan air.

Dari senarai di atas, didapati bahwa salah satu tujuan pengurangan kehilangan air adalah untuk memberikan layanan yang lebih baik dan lebih efisien bagi masyarakat. Pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) di negara berkembang dihadapkan pada berbagai tantangan yang berbeda dengan

negara maju. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi tingkat NRW adalah infrastruktur air yang sudah tua dan kurang terpelihara. Pipa yang usang, sambungan yang longgar, serta peralatan yang rusak menjadi sumber utama kebocoran fisik. Keterbatasan dana untuk pemeliharaan dan penggantian infrastruktur memperparah kondisi ini, sehingga perbaikan sering kali hanya dilakukan ketika kerusakan sudah parah. Selain itu, keterbatasan teknologi dan alat pemantauan juga menjadi hambatan besar. Di negara berkembang, penggunaan teknologi canggih untuk mendeteksi kebocoran, seperti sistem deteksi kebocoran akustik atau pengukuran *real-time*, masih terbatas karena biaya tinggi dan kurangnya keahlian teknis. Akibatnya, kebocoran sering kali tidak terdeteksi dalam waktu yang lama, yang meningkatkan tingkat kehilangan air (Yeboah, 2008).

Faktor lain yang turut menyumbang adalah ketidakakuratan dalam pembacaan meter air, baik di tingkat produksi maupun konsumsi pelanggan. Banyak meter air yang sudah tua dan tidak lagi berfungsi dengan baik, menyebabkan ketidaksesuaian antara volume air yang diproduksi dan yang ditagih. Pencatatan data yang manual dan rentan terhadap kesalahan juga menambah tantangan dalam pengendalian NRW. Selain itu, sambungan ilegal dan pencurian air merupakan masalah serius di banyak negara berkembang. Ketika akses terhadap layanan air minum terbatas atau biaya air terlalu tinggi, masyarakat mungkin melakukan sambungan ilegal ke jaringan distribusi, menambah jumlah air yang tidak terukur dan tidak tertagih, sehingga meningkatkan NRW secara signifikan (Owiti, 2013).

Kesadaran masyarakat yang rendah terhadap pentingnya menjaga keberlanjutan air juga menjadi tantangan. Banyak masyarakat di negara berkembang belum menyadari bahwa mereka dapat berkontribusi dalam mengurangi NRW dengan tidak melakukan pencurian air, dan melaporkan kebocoran

atau masalah lain pada jaringan distribusi. Di sisi lain, tantangan administratif dan kelembagaan, seperti birokrasi yang rumit, kurangnya koordinasi antar departemen, dan keterbatasan sumber daya manusia, sering kali memperlambat respon terhadap kebocoran dan masalah lainnya. Tekanan jaringan yang tidak stabil atau terlalu tinggi juga dapat menyebabkan kerusakan pada pipa dan peralatan, meningkatkan risiko kebocoran. Di negara berkembang, pengelolaan tekanan jaringan sering kali menjadi tantangan karena kurangnya sistem pemantauan yang canggih dan infrastruktur yang memadai (Masheka, 2016). Tingkat layanan yang tidak konsisten, seperti pasokan air yang terbatas atau tidak terjadwal, mempersulit pengendalian NRW. Ketika pelanggan mengalami kesulitan membayar tagihan tepat waktu atau melaporkan masalah, hal ini dapat mengganggu aliran pendapatan dan meningkatkan NRW (Owiti, 2013).

Oleh karena itu, pengendalian NRW di negara berkembang membutuhkan pendekatan yang komprehensif dan adaptif. Selain memperkuat infrastruktur dan meningkatkan teknologi, sangat penting untuk melibatkan masyarakat dalam proses pengelolaan air, meningkatkan kesadaran akan pentingnya penggunaan air yang efisien, dan memperkuat kapasitas kelembagaan. Dengan mengatasi tantangan-tantangan ini, negara berkembang dapat secara signifikan mengurangi tingkat NRW, meningkatkan efisiensi operasional, dan memastikan bahwa lebih banyak air minum tersedia untuk kebutuhan masyarakat.

Tabel 2. 1 Faktor Penentu NRW

PENELITI	LOKASI KASUS	FAKTOR PENENTU NRW
Murrar (2017)	Negara-negara Balkan	Volume konsumsi air per orang, biaya produksi per sambungan, jumlah populasi, kepadatan sambungan pada jaringan, biaya operasional per m ³ air yang terjual
Dongwoo Jang (2018)	Incheon, Korea Selatan	Faktor fisik, operasional, dan sosial ekonomi
Dongwoo Jang dan Gyewoon Choi (2017)	Incheon, Korea Selatan	Faktor operasional yang terdiri atas rasio kebutuhan energi dan jumlah kebocoran jaringan, serta parameter fisik yang terdiri atas diameter pipa, panjang pipa per jumlah sambungan layanan, debit air suplai per sambungan layanan, serta rasio deteriorasi pipa.
Jang, Park dan Choi (2018)	Incheon, Korea Selatan	Faktor fisik dan operasional pada jaringan distribusi
Goodson Masheka (2016)	Livingstone, Zambia	Konsumsi ilegal pada jaringan pipa pelanggan.
Collins K.Owiti (2013)	Garrisa, Kenya	Pencatatan volume air yang tidak tepat berkaitan dengan malfungsi dan akurasi alat ukur yang rendah, kehilangan air fisik di jaringan distribusi, dan konsumsi ilegal pada jaringan pipa pelanggan.
Peter A. Yeboah (2008)	Accra, Ghana	Kehilangan fisik di jaringan distribusi dan sambungan ilegal

Intisari Bab 2 :

1. **Dampak Ekonomi Global:** World Bank memperkirakan kehilangan air global mencapai biaya tahunan sebesar USD 141 miliar, dengan NRW global sekitar 35%. Pengurangan separuh NRW dapat meningkatkan pelayanan air hingga 100 juta penduduk dan menghasilkan penghematan biaya yang signifikan.
2. **Dampak NRW terhadap Keuangan Utilitas:**
 - a. Penurunan pendapatan operasional akibat konsumsi tak tertagih.
 - b. Peningkatan biaya operasional dan pemeliharaan, serta investasi tambahan untuk infrastruktur guna mengimbangi NRW.
 - c. Pengurangan laba yang mempengaruhi keberlangsungan keuangan perusahaan.
3. **Manfaat Pengurangan NRW:**
 - a. Menghasilkan arus kas tambahan untuk perusahaan.
 - b. Mengurangi sambungan ilegal, menciptakan keadilan antar pengguna.
 - c. Meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan kinerja utilitas air.
 - d. Membuka peluang usaha dan lapangan kerja.
4. **Faktor Penentu NRW:** Klasifikasi faktor NRW mencakup aspek fisik, operasional, dan sosial ekonomi. Standar yang tepat diperlukan dalam klasifikasi ini untuk mengukur parameter utama dalam distribusi air.

Bab 3

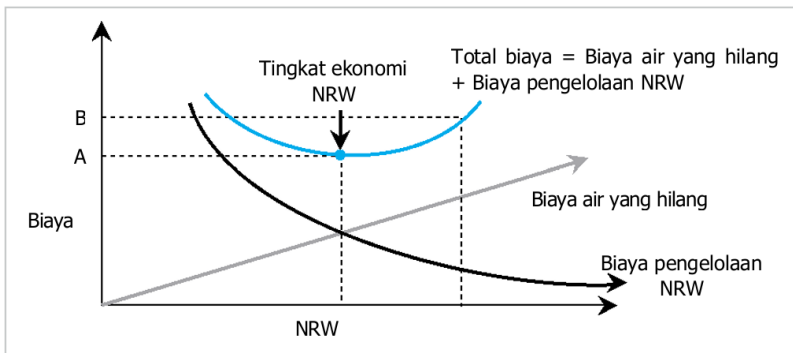
Strategi Pengendalian NRW

Tantangan pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) hanya dapat dipahami dengan baik setelah komponennya dikuantifikasi, indikator kinerja yang tepat dihitung, dan volume air yang hilang diterjemahkan ke dalam nilai ekonomi yang sesuai. Penggunaan neraca air IWA dapat mengungkapkan besarnya masing-masing komponen sebagai alat bantu analisis. Bab ini membahas bagaimana mengidentifikasi komponen utama NRW dan mengembangkan strategi pada pengelola utilitas air untuk mengurangi volume kehilangan yang ditargetkan dengan berlandaskan pada prinsip-prinsip manajemen.

Pembentukan tim pengembangan strategi pengendalian NRW perlu dilakukan untuk memastikan bahwa keseluruhan komponen NRW telah tercakup dan bahwa strategi yang diusulkan layak dalam hal penerapan fisik dan persyaratan keuangan. Tim harus terdiri dari anggota dari setiap departemen operasional, termasuk produksi, distribusi, dan layanan pelanggan. Tim ini juga dapat mencakup anggota dari departemen keuangan, pengadaan, dan sumber daya manusia. Memilih anggota yang tepat dapat meningkatkan andil dan kebersamaan dari berbagai departemen utilitas yang terlibat dalam implementasi strategi dan memastikan tercapainya konsensus manajemen.

3.1 Target Reduksi NRW

Tim pengembangan strategi pertama-tama harus menetapkan target di seluruh sektor perusahaan untuk target pengurangan NRW dengan mempertimbangkan tujuan atau kebijakan perusahaan yang akan melengkapi atau bertentangan dengan pengurangan NRW. Selain itu, perusahaan mungkin memiliki regulator aktif yang akan menetapkan indikator kinerja untuk NRW dan target lainnya. Seringkali, target NRW dipilih secara tidak rasional, tanpa pertimbangan nyata dari implikasi biaya. Identifikasi level ekonomi sangat penting untuk menetapkan target awal dan ini membutuhkan perbandingan biaya air yang hilang versus biaya kegiatan pengurangan NRW (Liemberger dan Farley, 2004).



Gambar 3.2 Identifikasi Level Ekonomi NRW (Farley dkk., 2008)

Gambar 3.1 menggambarkan bagaimana level ekonomi NRW ditentukan. Dua komponen yang harus ditentukan adalah biaya kehilangan air dan biaya pengendalian NRW (Farley dan Liemberger, 2005):

- 1) Biaya kehilangan air adalah nilai kehilangan air baik secara fisik maupun komersial. Volume kehilangan fisik harus dikalikan dengan biaya operasional variabel, misalnya biaya tenaga kerja, bahan kimia, dan listrik. Volume kerugian komersial harus dikalikan dengan tarif rata-rata pelanggan. Dengan

meningkatnya NRW, biaya kehilangan air akan meningkat secara proporsional.

- 2) Biaya pengendalian NRW harus sebanding dengan biaya pengurangan NRW, termasuk biaya staf, peralatan, transportasi, dan faktor lainnya. Ketika NRW menurun, biaya pengendalian NRW meningkat. Menambahkan dua komponen biaya bersama-sama memberikan total biaya. Pada Gambar 3.1, perpotongan dua garis komponen bertepatan dengan total biaya minimum (biaya A), yang merupakan level ekonomi NRW.

Grafik menunjukkan bahwa membiarkan NRW meningkat melewati tingkat ekonomi mengurangi biaya pengendalian NRW, tetapi total biaya untuk utilitas (biaya B) akan naik. Demikian pula, mengurangi NRW lebih rendah dari level ekonomi NRW akan lebih mahal daripada potensi penghematannya. Namun, pengelola utilitas terkadang memutuskan untuk mendorong di bawah level ekonomi NRW, misalnya pada daerah layanan di mana keberadaan air baku langka. Dalam kasus seperti itu, selisih antara biaya pengendalian NRW dan *revenue* biasanya disubsidi oleh pemerintah. Level ekonomi NRW terus berubah seiring dengan pergeseran biaya yang meliputi tarif air, biaya listrik, bahan kimia, gaji staf, dan biaya pasokan peralatan. Seorang manajer utilitas harus menilai level ekonomi NRW setiap tahun dan menyesuaikan target NRW untuk memastikan penggunaan sumber daya yang efisien (Farley dkk., 2008).

3.2 Komponen Reduksi NRW

Setelah target NRW seluruh utilitas ditetapkan, pengelola utilitas harus menghitung usulan volume air yang dihemat dengan membandingkan *baseline* NRW dengan tingkat target. Berbagai komponen, sebagaimana dirinci dalam neraca air, kemudian diprioritaskan sesuai dengan bagaimana pengurangan total yang diperlukan dapat dicapai dengan biaya yang paling efektif. Artinya, beberapa komponen mungkin terdiri dari volume yang signifikan, tetapi tidak akan ditargetkan karena biaya tinggi untuk mencapai pengurangan komponen tersebut. Di sisi lain, fokus pada komponen lain mungkin lebih murah sekaligus mengurangi volume yang sama.

Tabel neraca air menunjukkan besarnya komponen NRW dalam hal volume, yang dapat digunakan oleh pengelola utilitas untuk menentukan nilai keuangan yang sesuai. Secara umum, jika kehilangan fisik terdeteksi dan diperbaiki maka penghematan akan berupa pengurangan biaya operasional variabel. Ketika kerugian komersial terdeteksi dan diselesaikan, maka penghematan akan menjadi peningkatan pendapatan langsung dan dengan demikian didasarkan pada tarif penjualan air. Tarif penjualan air lebih tinggi dari biaya produksi variabel untuk semua utilitas air yang menguntungkan. Dalam beberapa kasus, tarif penjualan mencapai tiga atau empat kali lipat biaya produksi. Volume kerugian komersial yang lebih kecil mungkin memiliki nilai keuangan yang lebih tinggi, jadi jika peningkatan sumber daya keuangan adalah tujuannya, maka kerugian komersial harus diprioritaskan. Jika perusahaan air minum kekurangan air baku, dan dengan demikian beberapa pelanggan menerima pasokan kurang dari 24 jam atau cakupan pasokan kurang dari 100 %, maka pengurangan kehilangan fisik akan secara efektif menciptakan pasokan air tambahan. Jika peningkatan pasokan air adalah tujuannya, maka memprioritaskan kehilangan fisik dapat memungkinkan pelanggan untuk menerima air 24 jam sehari, atau untuk pelanggan baru untuk terhubung ke sistem pasokan (Farley dan Trow, 2015).

Tabel 3.1 menunjukkan analisis tindakan NRW menurut volume dan biaya, memungkinkan pengambil keputusan untuk melanjutkan perencanaan NRW secara logis (Farley dan Trow, 2015).

Tabel 3. 1 Analisis Volume dan Biaya Aktivitas Manajemen NRW
(Farley dkk., 2008)

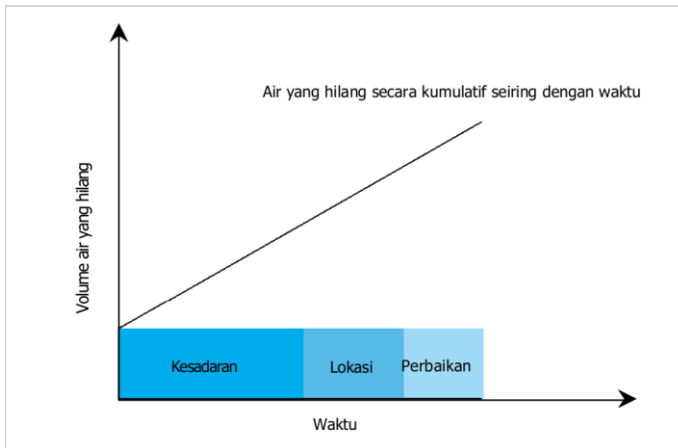
		Biaya		
		Tinggi	Sedang	Rendah
Volume	Tinggi	Kebocoran pada Pipa (P) Kebocoran pada pipa dinas (P)	Konsumsi tak resmi (C)	Konsumsi bermeter tak berekening (U)
	Sedang	Penggantian meter pelanggan (C)	Ketidakakuratan pembacaan meter pelanggan dan kesalahan penanganan data (C)	Manajemen tekanan (P)
	Rendah	Kebocoran penampungan air (P)	Konsumsi tak bermeter tak berekening (U)	Luapan penampungan air (P)

Jenis NRW: U= konsumsi resmi tak berekening, C= kehilangan nonfisik/komersial, P=kehilangan fisik

3.3 Prinsip Dasar Strategi

Setelah target reduksi NRW seluruh utilitas ditetapkan dan komponen yang berbeda dianalisis untuk memprioritaskan area untuk mencapai pengurangan yang diinginkan, maka kegiatan individu akan diidentifikasi. Pengembangan strategi harus didasarkan pada konsep *Awareness, Location, and Repair* (ALR). Konsep ini menyatakan bahwa setiap kerugian yang terjadi dari kebocoran, limpahan, kerusakan meter air atau sumber lain akan memiliki tiga tahap seperti yang ditunjukkan pada diagram di bawah ini (Farley dkk., 2008):

- 1) Waktu kesadaran (*awareness time*) yakni waktu yang dibutuhkan utilitas untuk mengetahui kebocoran.
- 2) Waktu lokasi (*location time*) yakni waktu yang diperlukan untuk menemukan lokasi kebocoran.
- 3) Waktu perbaikan (*repair time*) yakni waktu yang diperlukan untuk memperbaiki kebocoran.



Gambar 3. 3 Dampak Waktu terhadap Total Volume Kerugian (Farley dkk., 2008)

Volume air yang hilang akan terus meningkat sampai perusahaan air minum mengetahui masalahnya, menemukan atau menunjukkannya dengan tepat dan akhirnya memperbaiki atau menyelesaikannya. Kebocoran bawah tanah bisa berlangsung selama beberapa bulan atau bahkan bertahun-tahun tanpa ada yang menyadarinya (Kanakoudis dkk., 2015). Begitu pula dengan pola lokasi kebocoran yang dapat mempengaruhi kecepatan dan efektivitas perbaikan. Untuk itu, dalam penyusunan strategi perlu mempertimbangkan variabel spasial seperti batas zona layanan dan letak strategis pos alat dan tenaga untuk perbaikan (Nugroho dan Iriawan, 2019). Dengan demikian, keberadaan strategi pengurangan NRW harus semata-mata memastikan bahwa perusahaan mempersingkat waktu kesadaran (*awareness time*), waktu lokasi (*location time*), dan waktu perbaikan (*repair time*) untuk semua komponen NRW.

Banyak kerugian yang terjadi karena pemeliharaan yang buruk atau terbatas, jadi selain mempersingkat waktu, elemen keempat dari strategi NRW adalah pemeliharaan sistem. Hal ini penting untuk menjaga kondisi aset yang baik dan mengurangi insiden kebocoran baru, kegagalan meter air, kebocoran *reservoir*, dan masalah lainnya.

Saat mengembangkan strategi pengendalian NRW, perlu diperhatikan bahwa mengurangi NRW bukanlah proses jangka pendek, terutama pada jaringan penyediaan air yang menua (*aging*), skala besar, terbuka, atau bertekanan tinggi (Motiee dan Ghasemnejad, 2019). Kerangka waktu yang disusun untuk mengimplementasikan setiap komponen strategi harus disertai beberapa kegiatan yang mungkin berlangsung bertahun-tahun. Strategi NRW yang berlangsung antara empat hingga tujuh tahun sangat mungkin terjadi. Pengembangan dan pelaksanaan kegiatan untuk mencapai tingkat NRW yang ditargetkan membutuhkan biaya aktivitas. Dengan beberapa strategi pengendalian NRW yang berlangsung bertahun-tahun, biaya keseluruhannya bisa sangat besar.

Penyusunan anggaran biaya jangka panjang, khususnya pada sektor pengelolaan infrastruktur penyediaan air, harus dibahas secara menyeluruh dengan seluruh pemangku kepentingan. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa semua pihak menyadari besarnya biaya yang diperlukan dan bahwa strategi tersebut layak secara finansial (Sihombing dkk., 2024). Di Indonesia, banyak program pengurangan NRW dimulai dengan semangat dan kecepatan penuh tetapi seringkali gagal karena pemotongan anggaran dari waktu ke waktu. Melakukan kegiatan percontohan untuk menunjukkan keefektifan strategi akan sangat bermanfaat. Percontohan harus mencakup area yang lebih kecil, cukup substansial untuk memastikan bahwa semua komponen strategi akan diuji, dan beroperasi di bawah kondisi keuangan yang dapat direplikasi ketika kegiatan dilaksanakan di seluruh jaringan. Analisis hasil percontohan harus digunakan dalam pengembangan level ekonomi NRW untuk keseluruhan sistem.

Dalam menyiapkan anggaran, pengelola utilitas perlu mengidentifikasi biaya-biaya berikut (Farley dkk., 2008):

- a. Biaya personalia, yang terdiri dari tenaga ahli dan terampil yang memiliki pengetahuan memadai tentang NRW dan kebocoran.
- b. Biaya peralatan, meliputi alat pemantau NRW dan pendukung deteksi serta perbaikan kebocoran.

- c. Biaya kendaraan dan transportasi yang mendukung kegiatan pemantauan NRW, pendeteksi dan perbaikan kebocoran.
- d. Biaya tindakan untuk kegiatan pemantauan NRW, pendeteksi dan perbaikan kebocoran.

3.4 Implementasi Strategi

Implementasi strategi pengendalian *Non-Revenue Water* (NRW) merupakan proses kompleks yang membutuhkan pendekatan holistik dan berkelanjutan untuk mencapai hasil yang optimal. Salah satu langkah awal yang krusial adalah pembentukan tim audit independen yang bertujuan untuk memantau, mengevaluasi, dan memastikan bahwa setiap aspek dari implementasi strategi NRW berjalan sesuai rencana tanpa terpengaruh oleh konflik kepentingan. Tim ini harus terdiri dari individu yang memiliki keahlian dalam manajemen air, teknik distribusi air, audit, dan akuntansi, serta bekerja secara independen dari departemen operasional untuk menjaga obyektivitas. Peran utama mereka adalah melakukan audit progres secara rutin pada setiap departemen, menyusun laporan audit yang mendetail, serta mengawasi implementasi rekomendasi yang diberikan.

Seiring berjalannya waktu, pelatihan staf menjadi elemen kunci dalam keberhasilan strategi NRW. Program pelatihan harus mencakup modul dasar dan lanjutan tentang konsep NRW, teknik deteksi kebocoran, serta manajemen jaringan distribusi. Selain itu, setiap staf baru yang bergabung perlu mengikuti program pelatihan intensif untuk memastikan pemahaman yang mendalam tentang peran mereka. Evaluasi pasca pelatihan dilakukan untuk menilai efektivitas materi yang disampaikan, dan pelatihan ulang diadakan secara periodik untuk menguatkan pengetahuan staf, terutama setelah ada perubahan signifikan dalam teknologi atau prosedur.

Penetapan target tahunan dan pemantauan kinerja juga merupakan langkah penting dalam implementasi strategi NRW. Indikator Kinerja Utama seperti kehilangan fisik air dalam liter per sambungan per hari dan liter per sambungan per kilometer jaringan sangat penting untuk memantau kemajuan dan mengidentifikasi area yang memerlukan perhatian lebih. Pemantauan bulanan melalui rapat

yang dihadiri oleh perwakilan dari semua departemen juga perlu dilakukan untuk membahas kemajuan, hambatan, dan solusi yang dapat diterapkan segera. *Dashboard* kinerja yang dapat diakses oleh semua manajer departemen akan memfasilitasi pemantauan kinerja bulanan secara *real-time* dan memberikan peringatan dini jika terjadi penurunan kinerja.

Pelaporan dan transparansi juga menjadi bagian integral dari strategi NRW. Laporan kuartalan dan tahunan yang mendalam harus disusun oleh tim audit, mencakup analisis tren, perbandingan antar departemen, dan rekomendasi strategis. Semua hasil audit dan pertemuan harus didokumentasikan dan disebarluaskan secara transparan kepada semua level manajemen dan departemen terkait, sementara keterlibatan pemangku kepentingan eksternal dalam evaluasi hasil implementasi akan meningkatkan akuntabilitas dan mendapatkan masukan yang berharga.

Dalam menghadapi dinamika perubahan internal dan eksternal, strategi NRW harus responsif dan fleksibel. Evaluasi tahunan terhadap seluruh strategi NRW dilakukan untuk menilai efektivitas, efisiensi, dan relevansinya dengan tujuan jangka panjang perusahaan, serta menyesuaikan target tahunan dan KPI jika diperlukan. Tim audit dan manajemen juga harus siap untuk menyesuaikan strategi sesuai dengan perubahan eksternal seperti regulasi baru atau bencana alam, serta memanfaatkan inovasi teknologi yang dapat membantu dalam pengurangan NRW.

Manajemen risiko dan kontingensi juga perlu diperhatikan dalam implementasi strategi NRW. Risiko operasional seperti kerusakan infrastruktur atau kekurangan tenaga kerja harus diidentifikasi sejak awal, dan rencana kontingensi yang mencakup protokol darurat perlu dikembangkan untuk menghadapi situasi yang mengancam keberlangsungan distribusi air. Selain itu, keterlibatan komunitas melalui kampanye kesadaran dan kemitraan dengan organisasi masyarakat setempat dapat meningkatkan partisipasi publik dalam upaya pengurangan NRW. Transparansi terhadap publik juga perlu dijaga dengan mengeluarkan laporan publik secara berkala tentang pencapaian perusahaan dalam mengurangi NRW dan menyebarluaskan hasil pencapaian melalui berbagai media.

Akhirnya, pengukuran dan evaluasi efektivitas implementasi dilakukan untuk menilai dampak jangka panjang dari strategi NRW. Evaluasi dampak ekonomi akan mengukur kontribusi pengurangan NRW terhadap stabilitas finansial perusahaan, seperti peningkatan pendapatan dan efisiensi operasional, sementara evaluasi dampak lingkungan akan menilai kontribusi pengurangan NRW terhadap pelestarian sumber daya air dan penurunan emisi karbon terkait produksi air. Semua langkah ini, jika dilaksanakan dengan baik, akan memastikan bahwa implementasi strategi NRW berjalan efektif dan berkelanjutan, sehingga mencapai hasil yang optimal dalam jangka panjang.

STUDI KASUS : KOTA MALANG (JAWA TIMUR)

Untuk memberikan konteks yang lebih nyata mengenai implementasi strategi *Non-Revenue Water* (NRW), berikut ini adalah studi kasus dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kota Malang, Indonesia. Studi ini menyoroti pendekatan komprehensif yang dilakukan oleh PDAM Kota Malang dalam mengurangi NRW dan tantangan serta keberhasilan yang dihadapi selama proses tersebut. PDAM Kota Malang, seperti banyak utilitas air di Indonesia, menghadapi tantangan besar dalam hal NRW. Pada awal implementasi strategi di Tahun 2012, tingkat NRW di Kota Malang mencapai 42%. Tingginya tingkat NRW ini disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk kebocoran fisik di jaringan pipa yang sudah tua, pencurian air, serta inefisiensi dalam pengelolaan dan penagihan.

Implementasi Strategi NRW dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Pembentukan Tim Audit dan Pelatihan Staf :

PDAM Kota Malang membentuk tim audit independen untuk memantau dan mengevaluasi setiap langkah dalam strategi pengurangan NRW. Tim ini terdiri dari para ahli yang memiliki pengetahuan dalam manajemen air dan audit teknis. Selain itu, PDAM mengadakan pelatihan intensif bagi staf baru dan lama, memastikan mereka memiliki pemahaman yang mendalam

tentang konsep NRW, teknik deteksi kebocoran, dan manajemen jaringan distribusi. Program pelatihan ini diadakan secara berkala dan melibatkan simulasi lapangan untuk memperkuat pemahaman praktis.

2. Penetapan Target Tahunan dan Pemantauan

PDAM Kota Malang menetapkan target tahunan untuk pengurangan NRW dengan menggunakan indikator seperti kehilangan fisik air per sambungan per hari. Dalam proses ini, setiap departemen diberikan target spesifik berdasarkan tugas dan tanggung jawab mereka. Pemantauan dilakukan setiap bulan melalui rapat koordinasi yang melibatkan semua departemen terkait. Pada rapat ini, setiap departemen mempresentasikan kemajuan mereka dan hambatan yang dihadapi, serta merumuskan solusi bersama.

3. Penerapan Teknologi Deteksi Kebocoran

Salah satu langkah inovatif yang diambil oleh PDAM Kota Malang adalah penerapan teknologi modern dalam mendeteksi kebocoran. Mereka menggunakan sensor akustik dan perangkat lunak analisis data untuk mengidentifikasi lokasi kebocoran dengan lebih akurat. Teknologi ini memungkinkan tim operasional untuk menemukan dan memperbaiki kebocoran dengan cepat, sehingga mengurangi kehilangan air yang tidak tertagih.

4. Manajemen Risiko dan Kontingensi

PDAM juga mengembangkan rencana kontingensi untuk menghadapi situasi darurat yang dapat mempengaruhi distribusi air. Sebagai contoh, mereka menyiapkan protokol darurat jika terjadi kebocoran besar atau kegagalan sistem, serta alokasi sumber daya yang cukup untuk menangani situasi tersebut tanpa mengganggu operasi normal.

Hasil dan dampak dari implementasi strategi adalah sebagai berikut:

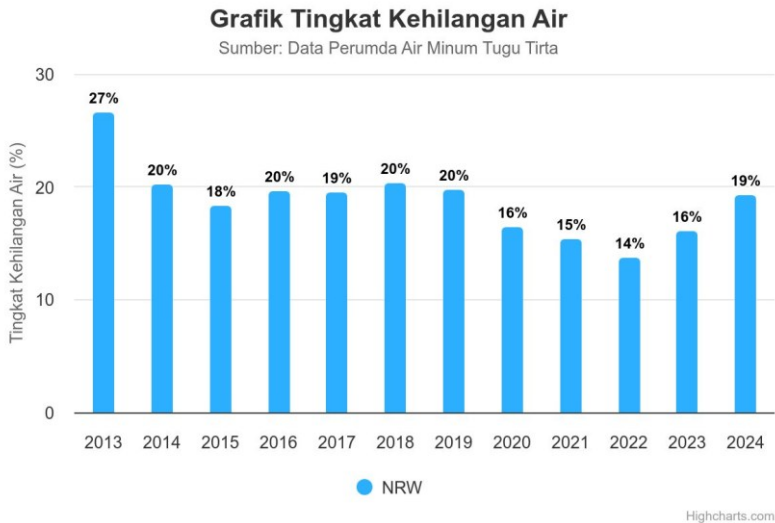
Selama periode sepuluh tahun (2012 - 2022) pelaksanaan strategi, PDAM Kota Malang berhasil menurunkan tingkat NRW dari 42%

menjadi sekitar 14%. Penurunan ini merupakan hasil dari kombinasi antara audit yang ketat, pelatihan berkelanjutan, penerapan teknologi canggih, dan manajemen risiko yang efektif. Selain itu, pengurangan NRW ini juga berdampak positif pada stabilitas finansial PDAM, dengan peningkatan pendapatan yang signifikan dan pengurangan biaya operasional terkait produksi dan distribusi air.

PDAM Kota Malang, yang pada Tahun 2019 kemudian berubah nama menjadi Perumda Air Minum Tugu Tirta, juga melaporkan adanya peningkatan kepuasan pelanggan, karena perbaikan infrastruktur distribusi air yang lebih cepat dan akurat. Transparansi dalam pelaporan kepada publik serta keterlibatan komunitas dalam program pengawasan air juga memperkuat hubungan antara PDAM dan masyarakat Kota Malang.

Tantangan yang Dihadapi di masa depan :

Meskipun banyak pencapaian positif, PDAM Kota Malang juga menghadapi sejumlah tantangan dalam implementasi strategi NRW. Salah satu tantangan terbesar adalah resistensi dari beberapa pihak internal yang kurang memahami pentingnya pengurangan NRW. PDAM harus mengatasi ini melalui sosialisasi yang intensif dan program pelatihan yang dirancang untuk meningkatkan kesadaran dan komitmen dari semua level staf. Selain itu, keterbatasan anggaran juga menjadi tantangan, terutama dalam investasi awal untuk teknologi deteksi kebocoran. Namun, PDAM Kota Malang berhasil mengatasi tantangan ini dengan mengalokasikan anggaran secara efektif dan mendapatkan dukungan dari pemerintah daerah.



Gambar 3. 4 Tingkat Kehilangan Air Kota Malang (Perumda Air Minum Tugu Tirta, 2024)

Intisari Bab 3 :

1. **Pembentukan Tim Pengembangan Strategi:** Tim ini harus mencakup anggota dari berbagai departemen operasional (produksi, distribusi, layanan pelanggan), keuangan, pengadaan, dan sumber daya manusia, dengan tujuan untuk memastikan tercapainya konsensus manajemen dan implementasi strategi yang layak.
2. **Penetapan Target Reduksi NRW:** Pengelola utilitas perlu menetapkan target pengurangan NRW dengan mempertimbangkan tujuan perusahaan dan regulator yang ada. Identifikasi level ekonomi NRW diperlukan untuk menilai biaya kehilangan air dan biaya

pengendalian NRW, yang berfungsi untuk menetapkan target yang rasional.

3. **Komponen Reduksi NRW:** Setelah menetapkan target, komponen NRW perlu dianalisis dan diprioritaskan berdasarkan volume dan biaya untuk mencapai pengurangan dengan cara yang paling efektif. Kehilangan fisik dan komersial memiliki dampak ekonomi yang berbeda, dengan pengurangan fisik berfokus pada penghematan biaya operasional, sementara pengurangan komersial meningkatkan pendapatan langsung.
4. **Prinsip Dasar Strategi:** Strategi pengendalian NRW harus memperhatikan tiga tahap: kesadaran, lokasi, dan perbaikan kebocoran, untuk meminimalkan waktu yang diperlukan untuk mendeteksi dan memperbaiki kebocoran. Pemeliharaan sistem juga menjadi elemen penting untuk mencegah kebocoran baru.
5. **Implementasi Strategi:** Implementasi yang sukses memerlukan tim audit independen untuk memastikan bahwa implementasi berjalan sesuai rencana. Program pelatihan dan pemantauan kinerja secara rutin, melalui dashboard kinerja dan laporan audit, sangat penting untuk keberhasilan jangka panjang. Evaluasi dan fleksibilitas dalam strategi diperlukan untuk menyesuaikan dengan perubahan situasi eksternal dan internal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 4

***Risk Assessment* pada Pengendalian NRW**

Tingginya tingkat *Non-Revenue Water* (NRW) di seluruh dunia, membuat pihak terkait di perusahaan air minum mencanangkan kegiatan pengurangan NRW yang paling efektif. Meskipun beberapa pendekatan yang diusulkan untuk pengelolaan dan pengurangan NRW dalam beberapa tahun terakhir dilakukan, sebagian besar utilitas air terus mengalami tingkat kehilangan air yang tinggi. Hal ini sebagian besar dapat disebabkan oleh :

1. Tidak memiliki pemahaman dan konsep yang layak untuk mengatasi masalah ini (Liemberger dan Farley, 2004)

2. Perusahaan air di negara berkembang tidak memiliki sistem pemantauan yang efisien untuk menilai kehilangan air (Eiro dkk., 2015).
3. Ada banyak ketidakpastian tentang data yang tersedia (Tabesh, 2009).
4. Tujuan yang saling bertentangan dan berbagai kepentingan pemangku kepentingan yang berbeda harus ditangani dengan baik (Zyoud dkk., 2016).

Keempat kondisi di atas seharusnya memantik kesadaran bagi pengelola utilitas air bahwa meskipun seluruh komponen NRW telah diketahui, masih terdapat risiko dalam pelaksanaan program kerja yang senantiasa harus dikelola dengan baik.

Pengelolaan aset merupakan salah satu pilar utama dalam program penurunan NRW pada sistem penyediaan air minum. Di antara sistem infrastruktur lainnya, sistem penyediaan air minum merupakan salah satu sistem infrastruktur sipil yang paling kritis. Untuk mempertahankan tingkat kinerja di sepanjang usia layanan, maka diperlukan inspeksi rutin, pemeliharaan tepat waktu, dan kecepatan dalam perbaikan. Oleh karena itu, pemeliharaan, perbaikan, dan pembaruan yang memadai dari aset fisik pada sistem merupakan hal yang penting terutama pada lokasi di mana terdapat potensi kerusakan yang dapat meluas. Sistem penyediaan air minum bersifat kompleks dan memiliki dampak yang dapat berimplikasi besar terhadap keberlangsungan operasional. Risiko kegagalan dalam sistem ini dapat disebabkan oleh kondisi struktur, lingkungan, penuaan (*aging*) dan *fatigue* aset, serta deteriorasi komponen yang pada akhirnya dapat meningkatkan rasio NRW. Pengelolaan aset yang efektif memerlukan penilaian risiko dan kondisi aset yang akurat dari sistem penyediaan air, sehingga dapat membantu menentukan komponen paling penting yang harus diganti untuk menghindari kegagalan. Namun, penilaian risiko dan kondisi aset dengan metode yang tidak tepat dapat memakan waktu, memerlukan biaya tinggi, dan mengganggu infrastruktur lain karena infrastruktur penyediaan air tersebut perletakkannya kebanyakan tertimbun di bawah tanah (Nugroho, Utomo dan Iriawan, 2022).

4.1 Identifikasi Risiko

Risiko adalah gabungan antara kemungkinan kejadian dan konsekuensinya (Zou, Zhang dan Wang, 1993). Secara sederhana, kemungkinan kejadian tak terduga terjadi bersamaan dengan tingkat dampak akan menentukan tingkat risiko. Pada sektor industri, tak terkecuali di bidang penyediaan air minum, terdapat kemungkinan terkena risiko yang lebih tinggi dengan adanya variansi peningkatan probabilitas atau *likelihood* dari timbulnya risiko. Di sisi lain, risiko sulit didefinisikan karena mungkin bersifat subyektif. Personel profesional seperti insinyur, mekanik dan teknisi melihat risiko dari aspek teknologi. Di sisi lain, akuntan, pelanggan, pemasok dan investor melihat risiko dari segi finansial. Pada dasarnya, risiko dapat dipahami sebagai dampak negatif yang mungkin terjadi pada sebuah kegiatan atau program. Risiko kegiatan atau program adalah kejadian atau kondisi yang tidak menentu, jika terjadi, berdampak terhadap tujuan kegiatan atau program seperti ruang lingkup, jadwal, biaya dan kualitas, yang berpotensi menimbulkan masalah. Tidak ada kegiatan yang bebas dari risiko, meski tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, namun perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi dampak risiko ke tingkat minimum melalui pengelolaan risiko yang efektif. Organisasi harus berkomitmen untuk menangani manajemen risiko sepanjang siklus hidup kegiatan atau program. Risiko dapat dibedakan dalam beberapa jenis menurut pendapat para ahli. Beberapa kategori risiko antara lain (Refsdal, Solhaug dan Stølen, 2015) :

1. Risiko yang sudah diketahui

Adalah risiko yang dapat diungkapkan setelah dilakukan evaluasi secara hati-hati terhadap rencana kegiatan, bisnis dan lingkungan teknik di mana kegiatan sedang dikembangkan, serta sumber informasi yang andal lainnya, seperti :

- a. Waktu pelaksanaan yang tidak realistis
- b. Kurangnya persyaratan yang terdokumentasi
- c. Lokasi atau lingkungan yang buruk
- d. Kurangnya ruang lingkup

2. Risiko yang dapat diestimasi atau diamati dari pengalaman kegiatan serupa, misalnya :
 - a. Pergantian staf yang kurang kompeten
 - b. Komunikasi yang buruk dengan pelanggan
3. Risiko yang tidak terduga, misalnya akibat ketidakpastian data atau kondisi yang tidak diketahui.

Proses identifikasi risiko (*risk identification*) dalam sebuah kegiatan, sangat penting untuk mencapai tujuan dari rencana pengelolaan risiko. Identifikasi risiko berupaya mengidentifikasi ketidakpastian yang ada dalam kegiatan yang sedang berjalan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi secara sistematis semua sumber risiko dalam sebuah kegiatan dan penyebab risikonya. Dengan demikian, identifikasi risiko dapat diasumsikan sebagai langkah paling penting dalam manajemen risiko. Tanpa langkah ini, risikonya tidak bisa dianalisis dan dikendalikan. Identifikasi risiko tidak bisa dilakukan dalam waktu singkat, tapi harus dilakukan secara rutin sepanjang kegiatan. Risiko internal dan eksternal harus ditangani dalam langkah ini. Panduan yang berbeda menunjukkan bahwa identifikasi merupakan langkah yang paling umum dalam inisiatif untuk mengelola risiko. Hal ini mengindikasikan bahwa identifikasi potensi risiko dalam sebuah kegiatan mendapat perhatian oleh manajemen. Identifikasi risiko mengawali proses manajemen risiko, di mana keberhasilan tahap identifikasi merupakan langkah awal proses manajemen risiko yang efektif (Refsdal, Solhaug dan Stølen, 2015).

4.2 Penilaian Risiko

Penilaian risiko (*risk assesment*) adalah tindak lanjut dari identifikasi risiko yang memperkirakan risiko dengan mengidentifikasi kejadian yang tidak diinginkan, kemungkinan terjadinya dan konsekuensi dari kejadian yang tidak diinginkan tersebut. Identifikasi risiko dan penilaian risiko merupakan faktor keberhasilan kegiatan utama karena dapat membantu dalam pengambilan keputusan. Ada banyak teknik penilaian risiko yang bisa diadopsi. Simulasi Monte Carlo, Analisis Sensitivitas, Metode Jalur Kritis, *Tree Diagram Cause and*

Effect Diagram adalah teknik kuantitatif paling awal yang digunakan untuk menilai risiko (Wells, 1996). Selain itu ada pula metode statistik probabilistik, deterministik dan *machine learning* seperti *Bayesian Networks* (BN), *Bayesian Belief Network* (BBN) dan *Fuzzy Inference* yang mutakhir diaplikasikan pada penilaian risiko di era ini yang dapat mengakomodasi kondisi ketidakpastian (*uncertainty*) yang dihadapi (Marzouk dan Ahmed, 2017).

Risiko yang ditimbulkan akibat NRW selalu dikaitkan dengan ketidakpastian akibat kurangnya data. Karena itu harus dipertimbangkan untuk mengembangkan berbagai metode dalam meningkatkan keandalan hasil. Kekurangan data dapat diatasi sampai batas tertentu dengan memanfaatkan pendapat para ahli melalui kuesioner. Beberapa peneliti (Mukherjee, Chindarkar dan Grönwall, 2014) menggunakan bukti empiris dari survei kuisisioner yang dilakukan di Bangalore, India untuk menyelidiki sumber utama risiko NRW pada utilitas air minum perkotaan. Adapun apa saja yang menjadi faktor risiko NRW, didapati berdasar literatur yang sangat terbatas, menunjukkan bahwa salah satu strategi paling umum untuk menganalisis timbulnya risiko NRW seperti yang ditunjukkan dalam studi yang dilakukan oleh beberapa peneliti (Kamani, Malakootian, Hoseini, dan Jaafari, 2012; H E Mutikanga, Sharma, dan Vairavamoorthy, 2011a; Tabesh, Soltani, Farmani, dan Savic, 2009; van den Berg, 2015) adalah mengembangkan metodologi komputasi. Di sisi lain, banyak penelitian yang dipublikasikan tentang komponen risiko NRW oleh beberapa peneliti yang lain (Harrison E Mutikanga, Sharma dan Vairavamoorthy, 2011; Zyoud dkk., 2016) cenderung berfokus pada penawaran opsi dan strategi untuk menangani masalah tersebut.

Beberapa peneliti (Shilehwa, Makhanu dan Khaemba, 2019) melakukan pengujian faktor-faktor risiko NRW dengan metode Bayesian Networks (BN). Data primer untuk penelitian ini diperoleh melalui kuesioner dan observasi lapangan. Selanjutnya, karena adanya ketidakpastian, metode statistik probabilistik yang tepat harus diterapkan untuk pemodelan. Dalam konteks kerangka probabilistik, metode ini secara alami sesuai untuk menangani kasus data dengan pola tersebut dan dapat memiliki kemampuan untuk memperbarui deskripsi dengan informasi baru (Nannapaneni,

Mahadevan dan Rachuri, 2016). Bayesian Networks adalah model probabilistik grafis yang mewakili variabel sistem dan hubungan kondisional sebagai simpul dan hubungan dalam diagram pengaruh (Thomsen dkk., 2016). Hubungan antar variabel ditentukan oleh distribusi probabilitas bersyarat dan oleh karena itu Bayesian Networks dapat menjelaskan ketidakpastian dalam prediksi model secara eksplisit (Korb dan Nicholson, 2003). Penggunaan metode ini telah diterapkan pada berbagai risiko seperti kekurangan kebutuhan air harian akibat kebocoran (Magiera dan Froelich, 2015), kontaminasi air (Tang dkk., 2016; Hall dan Le, 2017), penurunan tekanan, kehilangan air fisik (Barandouzi dkk., 2012; Leu dan Bui, 2016), dan pipa pecah (Wang dkk., 2010; Francis, Guikema dan Henneman, 2014; Kabir dkk., 2015). Namun, alat probabilistik ini belum digunakan secara khusus dalam penyelidikan dan identifikasi risiko NRW. Peneliti yang lain (Anbari, Tabesh dan Roozbahani, 2017) mengembangkan model penilaian risiko baru untuk memprioritaskan pemeriksaan pipa. Mereka menggunakan Bayesian Networks sebagai pendekatan probabilistik untuk menghitung probabilitas kegagalan dan metode rata-rata tertimbang untuk menghitung konsekuensi dari nilai kegagalan. Kemudian, nilai probabilitas dan konsekuensi kegagalan diintegrasikan menggunakan *Fuzzy Inference Systems* (FIS). Metode ini juga direkomendasikan oleh peneliti yang lain (Elmasry, Hawari dan Zayed, 2017) dengan menyajikan model kerusakan pipa untuk menentukan peringkat kondisi secara probabilistik. Selain itu, keberadaan NRW dalam jaringan menimbulkan beberapa dampak yang tidak diinginkan, misalnya konsekuensi sosial dan ekonomi. Untuk mempertimbangkan dampak ini dan untuk melakukan prioritas yang lebih rasional pada tindakan korektif, penilaian risiko bisa menjadi solusi yang tepat. Penilaian risiko adalah penentuan perkiraan kuantitatif atau kualitatif risiko yang terkait dengan situasi yang terdefinisi dengan baik dan ancaman yang diakui (juga disebut bahaya). Kabir dkk (2015) mengusulkan model untuk menilai risiko pasokan air untuk jaringan distribusi air. Mereka pertama-tama menentukan probabilitas terjadinya ledakan pipa dan dampak yang mungkin terjadi dan untuk kemudian risiko kegagalan pasokan air dihitung sebagai produk dari dua nilai ini. Hasil penelitian menunjukkan kemampuan model penilaian risiko pasokan air yang

diusulkan untuk mempertimbangkan posisi penyedia air dan konsumen air secara bersamaan. Selain itu, efektivitas biaya model telah diverifikasi (Kabir dkk., 2015).

Pengembangan model penilaian risiko (*risk assesment model*) seharusnya mudah untuk diaplikasikan (*applicable*) untuk menilai risiko dengan berbasis data seperti tahun pemasangan, usia, material, dan riwayat kerusakan jaringan. Model dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan berbagai tingkat dampak ekonomi yang dapat mempengaruhi rehabilitasi atau penggantian saluran (misalnya biaya bahan baku, kekritisasi pelanggan, penggunaan lahan, permintaan, bahan pipa, dan dampak lalu lintas). Dalam keluaran model, sumberdaya yang paling rentan membutuhkan perhatian untuk kemudian menjadi prioritas penanganan. Para peneliti (Kabir, Tesfamariam dan Sadiq, 2015) menyajikan model Bayesian Belief Networks (BBN) untuk evaluasi risiko kegagalan pipa berbahan logam dengan mempertimbangkan struktur, kapasitas hidrolis, kualitas air, dan faktor konsekuensi. Sebagai studi kasus, analisis risiko pada jaringan distribusi air di Kota Kelowna, Kanada mengungkapkan bahwa hampir 9 % dari total 259 pipa berbahan logam berisiko tinggi untuk gagal di musim panas dan musim dingin. Pada kasus ini, walaupun secara umum proses penilaian risiko dapat dilakukan secara deterministik, namun masih mengandung aspek yang tidak pasti secara alami.

Agar mendapatkan hasil yang lebih akurat, ketidakpastian (*uncertainty*) ini harus dipertimbangkan. Karena metode probabilistik membutuhkan sejumlah besar data input, di mana dibutuhkan lebih banyak data daripada yang tersedia secara umum, maka penggunaan teori *fuzzy* menjadi metode alternatif. metode ini dapat digunakan sebagai model prediksi dalam kasus di mana data input terdapat ketidakpastian yang tinggi. Penerapan teori *fuzzy* dalam penilaian risiko dilakukan oleh berbagai peneliti. Misalnya, kegagalan layanan kebutuhan air (Firat, Turan dan Yurdusev, 2009; Tabesh dkk., 2009), kegagalan pipa di bawah permukaan tanah (Kleiner, Sadiq dan Rajani, 2004; Kleiner, Rajani dan Sadiq, 2006; Aydogdu dan Firat, 2015), risiko kombinasi beberapa komponen NRW (Christodoulou dan Deligianni, 2010; Haider, Sadiq dan Tesfamariam, 2015), kebocoran jaringan air minum (Islam dkk.,

2011; Wachla, Przystalka dan Moczulski, 2015; Moczulski dkk., 2016), dan penurunan tekanan hidraulik (Bezerra, Da Silva dan Gomes, 2012; Wang dan Huo, 2014; Costa de Oliveira dkk., 2017)

Tabel 4. 1 Identifikasi Risiko dan Metode *Assesment*

PENELITI	IDENTIFIKASI RISIKO	METODE <i>ASSESMENT</i>
Magiera dan Froelich (2015)	Kekurangan kebutuhan harian akibat kebocoran	Bayesian Networks (BN)
Tang et al. dkk (2016), Hall dan Lee (2017)	Kontaminasi air	Bayesian Networks (BN)
Martínez-Codina et al. (2015)	Penurunan tekanan hidraulik	Bayesian Networks (BN)
Barandouzi et al. (2012), Leu dan Bui (2016)	Kehilangan fisik	Bayesian Networks (BN)
Wang et al. (2010), Francis, Guikema dan Henneman, (2014), Kabir et al.(2015)	Pipa pecah	Bayesian Networks (BN)
Elmasry, Hawari dan Zayed, (2017)	Konsekuensi sosial dan ekonomi	Bayesian Networks (BN) dan <i>Fuzzy Inference Systems</i> (FIS).
Choi dan Koo (2015)	Ledakan pipa dan kegagalan pasokan air	Bayesian Networks (BN) dan <i>Fuzzy Inference Systems</i> (FIS).
Kabir, Tesfamariam dan Sadiq (2015)	Kegagalan pipa berbahan logam	<i>Bayesian Belief Networks</i> (BBN)
Firat, Turan dan Yurdusev, (2009), Tabesh et al. (2009)	Kegagalan layanan kebutuhan air	<i>Fuzzy Inference</i>
Kleiner, Sadiq and Rajani, (2004), Kleiner, Rajani dan Sadiq (2006), Aydogdu dan Firat (2015)	Kegagalan pipa di bawah permukaan tanah	<i>Fuzzy Inference</i>
Christodoulou and Deligianni (2010), Haider, Sadiq dan Tesfamariam (2015)	Risiko kombinasi beberapa komponen NRW	<i>Fuzzy Inference</i>
Islam et al. (2011), Wachla, Przystalka dan Moczulski, (2015), Moczulski et al. (2016)	Kebocoran jaringan air minum	<i>Fuzzy Inference</i>
Bezerra, Da Silva dan Gomes (2012), Wang dan Huo (2014), de Oliveira et al. (2017)	Penurunan tekanan hidraulik	<i>Fuzzy Inference</i>

Intisari Bab 4 :

1. Manajemen Risiko:

- a. Risiko harus dikelola dengan baik untuk mengurangi dampak negatif terhadap biaya, kualitas, jadwal, dan ruang lingkup proyek.
- b. Identifikasi dan penilaian risiko adalah langkah penting dalam manajemen risiko untuk mengatasi ketidakpastian.

2. Kategorisasi Risiko:

- a. Risiko dapat dibagi menjadi risiko yang diketahui, dapat diestimasi, dan tidak terduga (misalnya ketidakpastian data atau kondisi yang tidak diketahui).

3. Teknik Penilaian Risiko:

- a. Berbagai teknik penilaian risiko, seperti simulasi Monte Carlo, Analisis Sensitivitas, dan Bayesian Networks (BN), digunakan untuk menangani ketidakpastian.
- b. Bayesian Networks dapat membantu dalam memperkirakan kemungkinan dan konsekuensi kegagalan pada sistem distribusi air.

4. Metode Fuzzy dalam Penilaian Risiko:

- a. Metode probabilistik dan fuzzy digunakan untuk menangani ketidakpastian dalam penilaian risiko.
- b. Fuzzy Inference Systems (FIS) digunakan untuk mengintegrasikan probabilitas dan konsekuensi kegagalan dalam penilaian risiko, terutama dalam kondisi data yang tidak lengkap.

5. Model Penilaian Risiko:

- a. Model berbasis data seperti usia pipa, material, dan riwayat kerusakan penting dalam menilai risiko.
- b. Model penilaian risiko dapat digunakan untuk menentukan prioritas tindakan perbaikan pada komponen yang paling rentan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 5

Pengukuran Performa Kinerja

Non-Revenue Water (NRW) telah menjadi standar efisiensi pengelolaan utilitas air baik dari sisi kinerja operasional maupun kinerja keuangan. Seluruh pemangku kepentingan, pembuat kebijakan, para manajer, badan pengatur dan lembaga pembiayaan menggunakan *Performance Indicator* (PI) NRW untuk memberi peringkat kinerja pengelolaan terhadap standar industri pada pengelolaan utilitas air. Bab ini meninjau indikator kinerja program pengendalian NRW yang berkaitan dengan pengendalian kehilangan fisik, kerugian komersial, dan menjelaskan secara singkat program pemantauan.

5.1 Karakteristik Indikator Kinerja

Performance Indicator (PI) membantu utilitas dalam (Farley dkk., 2008):

1. Memahami kehilangan air
2. Menetapkan target untuk perbaikan
3. Mengukur dan membandingkan kinerja
4. Mengembangkan standar
5. Memantau kepatuhan
6. Pengambilan keputusan prioritas investasi

Performance Indicator (PI) yang baik seharusnya bersifat jelas, tidak ambigu dan mudah dipahami serta memiliki dasar yang rasional. Dengan begitu, seharusnya mudah pula diterapkan dengan menggunakan data yang dikumpulkan oleh utilitas secara reguler selama operasional bergulir.

Pada akhirnya, utilitas harus menyertakan indikator kinerja standar untuk mengukur kinerja dan memfasilitasi perbandingan dengan utilitas lain. Berbagai sistem pendukung keputusan tersedia bagi manajer dalam memilih PI yang sesuai untuk kebutuhan utilitas dan kompleksitas operasional mereka.



Gambar 5. 1 Skema Pemilihan *Performance Indicator* (PI) (Farley dkk., 2008)

Sebagai gambaran, pengelola utilitas dapat menggunakan Gambar 5.1 untuk pemilihan kategori PI pada penilaian kinerja mereka (Farley dan Liemberger, 2005). Dalam pengelolaan jaringan air bertekanan, pengelola dapat meningkatkan kinerja dengan pedoman kerugian yang mudah dipahami dalam satuan liter per sambungan, per hari, per meter tekanan (liter/sambungan/hari/m).

5.2 Indikator Pengendalian Kehilangan Fisik

Indikator kehilangan air fisik (*Physical Water Loss*) adalah metrik yang digunakan untuk mengukur seberapa banyak air yang hilang dalam sistem distribusi air minum akibat kebocoran, kerusakan pipa, sambungan yang longgar, atau komponen infrastruktur lainnya yang rusak. Kehilangan air fisik merupakan bagian dari *Non-Revenue Water* (NRW) yang bisa berdampak signifikan pada efisiensi operasional dan ketersediaan air minum. Indikator tersebut dapat berupa (Farley dan Liemberger, 2005) :

1. Persentase NRW

Non-Revenue Water (NRW) secara umum dinyatakan sebagai persentase dari volume *input* sistem penyediaan air. Meskipun

demikian, apabila digunakan sebagai PI, terdapat kemungkinan di mana persentase NRW memberikan info yang tidak mencerminkan gambaran kinerja yang ideal. Sebagai contoh, persentase NRW yang rendah dapat dimiliki oleh utilitas air dengan konsumsi tinggi, tekanan rendah, dan pasokan terputus-putus. Selain itu, persentase ini tidak memberikan bobot yang berbeda antara kehilangan fisik dan kerugian komersial. Tetapi setidaknya persentase yang tinggi dapat menjadi pendorong bagi pengelola utilitas untuk memulai studi tentang kinerja operasional jaringan berdasarkan perhitungan neraca air. Hal ini juga berguna sebagai ukuran kinerja keuangan tahunan utilitas, selama prinsip-prinsip pengukuran konsisten. Dalam hal ini, persentase NRW harus dinyatakan sebagai nilai uang, bukan volume air yang hilang (Farley dan Trow, 2015).

2. Indikator Volume Kebocoran

Indikator kinerja lain dari kehilangan fisik meliputi indikator kebocoran sebagai berikut (Farley dan Liemberger, 2005):

- Indikator kebocoran dalam liter per sambungan layanan per hari (l/sambungan/hari)
- Indikator kebocoran dalam liter per sambungan layanan per hari per meter tekanan (l/sambungan/hari/m tekanan)
- Indikator kebocoran dalam liter per kilometer pipa per hari (l/km/hari)

3. *Infrastructure Leakage Index (ILI)*

Infrastructure Leakage Index (ILI) adalah indikator kehilangan fisik lebih akurat, yang memperhitungkan bagaimana jaringan dikelola (Farley dkk., 2008). Indikator ini dikembangkan oleh IWA, dan direkomendasikan oleh *American Water Works Association (AWWA)* dan *Water Loss Control Committee (WLCC)*. ILI akan efektif dalam penilaian jaringan, di mana NRW relatif rendah, misalnya di bawah 20%, karena ILI dapat membantu mengidentifikasi area mana yang dapat dikurangi lebih lanjut. ILI adalah ukuran seberapa baik jaringan distribusi dikelola yaitu dipelihara, diperbaiki, dan direhabilitasi, untuk mengendalikan kehilangan fisik pada tekanan operasi saat ini. Dalam indikator ini

terdapat besaran *Current Annual Volume of Physical Losses* (CAPL) dengan *Minimum Achievable Annual Physical Losses* (MAPL).

$$ILI = \frac{CAPL}{MAAPL}$$

Indikator ILI tidak memiliki unit, oleh karena itu indikator ini dapat digunakan untuk memfasilitasi perbandingan kinerja antar utilitas air pada negara yang menggunakan unit pengukuran yang berbeda. Komponen awal yang kompleks dari rumus MAAPL telah dikonversi ke format menggunakan tekanan yang telah ditentukan sebelumnya untuk penggunaan praktis :

$$MAAPL \text{ (liter/hari)} = (18 \times L_m + 0,8 \times N_c + 25 \times L_p) \times P$$

Di mana L_m = panjang pipa distribusi (km); N_c = jumlah sambungan layanan; L_p = total panjang pipa pelanggan, batas properti ke meter pelanggan (km); dan P = tekanan rata-rata (m).

Tabel 5.1 menunjukkan berbagai indikator, meliputi *Infrastructure Leakage Index* (ILI), persentase NRW dan indikator kehilangan fisik lainnya yang direkomendasikan sebagai PI untuk penilaian pengelola utilitas air bersih. PI dikategorikan berdasarkan fungsi dan level yang didefinisikan sebagai berikut:

a. Level 1 (Dasar)

Merupakan lapisan pertama dari indikator yang memberikan gambaran umum manajemen dari efisiensi dan efektivitas utilitas air.

b. Level 2 (Menengah)

Indikator tambahan yang memberikan wawasan yang lebih baik daripada level 1 indikator untuk pengelola utilitas yang melangkah lebih jauh.

c. Level 3 (Rinci)

Indikator yang memberikan detail spesifik paling banyak, tetapi masih relevan di tingkat manajemen puncak.

Tabel 5. 1 Rekomendasi Indikator Kehilangan fisik dan NRW (Farley dkk., 2008)

Fungsi	Tingkat	Indikator Kinerja	Komentar
Kuangan: NRW berdasarkan Volume	1 (Dasar)	Volume NRW [% dari Volume Input Sistem]	Dapat dihitung dari neraca air sederhana tidak terlalu bermakna
Operasional: Kehilangan Fisik	1 (Dasar)	[Liter/sambungan pipa pelanggan/hari atau [Liter/km pipa utama/hari] (hanya jika kepadatan sambungan pipa pelanggan < 20/km)	Merupakan yang terbaik dari indikator-indikator "tradisional" yang sederhana, bermanfaat untuk menetapkan target, digunakan secara terbatas untuk perbandingan antar sistem
		[Liter/sambungan pipa pelanggan /hari/m tekanan] atau [Liter/km of pipa utama/hari/m tekanan] (hanya jika kepadatan sambungan pipa pelanggan < 20/km)	
Operasional: Kehilangan Fisik	2 (Menengah)	[Liter/sambungan pipa pelanggan /hari/m tekanan] atau [Liter/km of pipa utama/hari/m tekanan] (hanya jika kepadatan sambungan pipa pelanggan < 20/km)	Indikator yang mudah dihitung jika ILI belum diketahui, berguna untuk perbandingan antar sistem
Kuangan: NRW berdasarkan biaya	3 (Terperinci)	Nilai NRW [% dari biaya tahunan untuk menjalankan sistem]	Memungkinkan berbagai satuan biaya untuk komponen NRW Indikator keuangan yang baik
Operasional: Kehilangan Fisik	3 (Terperinci)	Indeks Kebocoran Infrastruktur (Infrastructure Leakage Index/ILI)	Rasio kehilangan fisik tahunan saat ini terhadap kehilangan <i>real</i> tahunan yang tidak bisa dihindarkan, merupakan indikator yang paling kuat untuk perbandingan antar sistem

Gambar 5.2 mengilustrasikan konsep ILI dengan faktor-faktor yang mempengaruhi manajemen kebocoran. Kotak besar mewakili *Current Annual Volume of Physical Losses* (CAPL) yang cenderung meningkat seiring bertambahnya jaringan distribusi. Namun, peningkatan ini dapat dibatasi oleh kebijakan manajemen kebocoran yang berhasil. Kotak hitam mewakili *Minimum Achievable Annual Physical Losses* (MAPL) atau volume kehilangan fisik terendah yang dapat dicapai secara teknis pada tekanan operasi saat ini (Farley dan Liemberger, 2005).



Gambar 5. 2 Konsep ILI (Farley dkk., 2008)

Rasio CAPL terhadap MAAPL atau ILI adalah ukuran seberapa baik utilitas mengimplementasikan tiga fungsi manajemen infrastruktur yang mencakup perbaikan saluran pipa, pengelolaan aset, dan pengendalian kebocoran aktif. Meskipun sistem yang dikelola dengan baik dapat memiliki nilai ILI sebesar 1,0 di mana $CAPL = MAAPL$, tetapi hal ini bukanlah tujuan akhir utilitas, karena ILI adalah indikator kinerja teknis murni dan tidak memperhitungkan pertimbangan ekonomi (Farley dan Liemberger, 2005).

Langkah perhitungan ILI adalah sebagai berikut (Farley dan Liemberger, 2005):

- 1) Langkah 1. Hitung MAAPL.
- 2) Langkah 2. Hitung CAPL (misalnya dari neraca air).
- 3) Langkah 3. Hitung ILI ($CAPL/MAAPL$).
- 4) Langkah 4. Sesuaikan suplai intermiten (bagi MAAPL dengan jumlah rata-rata jam suplai per hari).
- 5) Langkah 5. Bandingkan ILI dengan matriks target kehilangan fisik.

Matriks target kehilangan fisik menunjukkan tingkat ILI yang diharapkan dan kehilangan fisik dalam liter/sambungan/hari dari utilitas di negara-negara pada tingkat tekanan jaringan yang berbeda (Tabel 5.2).

Tabel 5. 2 Matriks Target Kehilangan fisik (Farley dkk., 2008)

Kategori Kinerja Teknis		ILI	Kehilangan Fisik [Liter/sambungan/hari] (ketika sistem dalam tekanan) pada tekanan rata-rata:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Negara-negara maju	A	1 - 2		< 50	< 75	< 100	< 125
	B	2 - 4		50 - 100	75 - 150	100 - 200	125 - 250
	C	4 - 8		100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Negara-negara berkembang	A	1 - 4	< 50	< 100	< 150	< 200	< 250
	B	4 - 8	50 - 100	100 - 200	150 - 300	200 - 400	250 - 500
	C	8 - 16	100 - 200	200 - 400	300 - 600	400 - 800	500 - 1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	

Pengelola utilitas dapat menggunakan matriks untuk memandu pengembangan dan peningkatan jaringan lebih lanjut dengan kategori sebagai berikut (Farley dan Liemberger, 2005):

- Kategori A (Baik) : Pengurangan kerugian lebih lanjut mungkin tidak ekonomis dan diperlukan analisis yang cermat untuk mengidentifikasi perbaikan yang hemat biaya.
- Kategori B (Sedang) : Berpotensi untuk peningkatan yang nyata. Pertimbangkan manajemen tekanan, lebih baik kontrol kebocoran aktif, dan perawatan yang lebih baik.
- Kategori C (Buruk) : Ditoleransi hanya jika air berlimpah dan murah, dengan mengintensifkan upaya pengurangan NRW.
- Kategori D (Sangat Buruk) : Utilitas menggunakan sumber daya secara tidak efisien dan program pengurangan NRW adalah keharusan.

5.3 Indikator Pengendalian Kehilangan Komersial

IWA juga mengembangkan indikator kinerja untuk kerugian komersial yang serupa dengan ILI. Indikator tersebut menggunakan nilai dasar 5 % dari penjualan air sebagai acuan dan realisasi nilai kerugian komersial dihitung terhadap tolok ukur ini. Indikator ini adalah *Apparent Loss Index* (ALI) yang dinyatakan dengan (Farley dkk., 2008) :

$$ALI = \frac{\text{Nilai kerugian komersial}}{5\% \text{ dari nilai penjualan air}}$$

Penjelasan Komponen:

Nilai Kerugian Komersial: Ini mencakup semua bentuk kehilangan yang berkaitan dengan ketidakakuratan dalam pengukuran dan penagihan. Contohnya:

Kesalahan Pengukuran: Meter air air yang kurang akurat atau tidak berfungsi dengan baik dapat mengakibatkan penagihan yang tidak sesuai dengan konsumsi aktual.

Pencurian Air: Pengambilan air secara ilegal tanpa melalui meter air atau dengan menghindari pembayaran dapat signifikan dalam beberapa wilayah.

Ketidakakuratan Pelaporan: Data yang tidak tepat dalam proses administrasi, seperti kesalahan input data atau penundaan dalam penagihan, juga berkontribusi terhadap kerugian.

5% dari Nilai Penjualan Air: Ini adalah nilai dasar yang digunakan sebagai tolok ukur. IWA menetapkan bahwa 5% adalah tingkat kerugian komersial yang dapat diterima dalam kondisi ideal. Dengan menggunakan ini sebagai dasar, ALI memberikan indikasi seberapa jauh kinerja aktual perusahaan dibandingkan dengan standar yang diharapkan.

Penggunaan ALI menawarkan beberapa keuntungan:

1. Fokus pada Pendapatan: Dengan menghubungkan kerugian komersial langsung dengan pendapatan yang hilang, ALI memberikan pandangan yang lebih relevan dan langsung terkait dengan performa keuangan perusahaan. Hal ini memungkinkan perusahaan untuk lebih fokus pada inisiatif yang akan memberikan dampak finansial terbesar.
2. Pengukuran Berbasis Nilai: Alih-alih hanya mengukur volume air yang hilang, ALI menilai kerugian berdasarkan nilai ekonomi, yang lebih mendekati tujuan utama perusahaan—yaitu memaksimalkan pendapatan dari penjualan air.
3. *Benchmark* yang Jelas: Dengan adanya tolok ukur 5%, perusahaan dapat dengan mudah mengidentifikasi apakah kerugian komersial mereka berada dalam batas yang dapat diterima atau perlu tindakan perbaikan. Ini juga memungkinkan perbandingan antar perusahaan atau wilayah yang lebih objektif.

Dalam praktiknya, ALI dapat digunakan sebagai bagian dari strategi keseluruhan pengendalian kehilangan air. Beberapa langkah yang dapat diambil oleh perusahaan air untuk memanfaatkan ALI secara efektif meliputi:

1. Audit Meter air dan Prosedur Penagihan: Memastikan bahwa semua meter air berfungsi dengan baik dan melakukan kalibrasi secara berkala untuk mengurangi kesalahan pengukuran.
2. Pengawasan Terhadap Pencurian Air: Mengembangkan sistem deteksi dan penindakan yang efektif untuk mengidentifikasi dan menghentikan pengambilan air secara ilegal.
3. Perbaikan dalam Sistem Administrasi: Mengoptimalkan sistem pelaporan dan penagihan untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan efisiensi.

4. Pelatihan dan Kesadaran: Melakukan pelatihan bagi staf mengenai pentingnya pengukuran dan pelaporan yang akurat, serta mengedukasi pelanggan tentang konsekuensi pencurian air.
5. Pemantauan Kinerja Secara Berkelanjutan: Menggunakan ALI sebagai bagian dari dashboard kinerja untuk memantau dan melaporkan perkembangan pengendalian kerugian komersial secara reguler.

Penerapan indikator yang umumnya digunakan, yang menyatakan kerugian komersial sebagai persentase air yang dipasok adalah tidak tepat. Hal ini karena tidak mencerminkan nilai sebenarnya dari pendapatan yang hilang. Saat ini, indikator terbaik adalah untuk mengukur kerugian komersial sebagai persentase dari konsumsi resmi (Farley dkk., 2008).

Penggunaan ALI lebih tepat dibandingkan hanya menggunakan persentase air yang dipasok, karena ALI mencerminkan nilai riil pendapatan yang hilang. Hal ini memberikan fokus pada aspek keuangan dari kehilangan air, yang lebih relevan dalam konteks pengelolaan perusahaan air minum. Dalam implementasinya, ALI dapat membantu perusahaan air minum untuk mengidentifikasi dan menargetkan area-area di mana kerugian komersial paling signifikan. Dengan demikian, strategi pengendalian kehilangan dapat lebih fokus pada pengurangan kehilangan pendapatan daripada hanya volume air yang hilang.

Intisari Bab 5 :

1. ***Performance Indicator (PI)***: PI membantu utilitas dalam memahami kehilangan air, menetapkan target perbaikan, mengukur dan membandingkan kinerja, serta memfasilitasi

pengambilan keputusan untuk prioritas investasi. PI yang baik harus jelas, tidak ambigu, dan mudah diterapkan berdasarkan data yang dikumpulkan secara reguler.

2. **Indikator Kehilangan Fisik:** Kehilangan air fisik diukur dari kebocoran dan kerusakan infrastruktur. Indikator yang digunakan meliputi persentase NRW, volume kebocoran, dan Infrastructure Leakage Index (ILI). ILI adalah indikator lebih akurat untuk menilai pengelolaan jaringan distribusi, yang dihitung dengan membandingkan volume kehilangan fisik tahunan aktual (CAPL) dengan nilai minimum yang dapat dicapai (MAAPL).
3. **Indikator Kehilangan Komersial:** Kerugian komersial diukur dengan Apparent Loss Index (ALI), yang dihitung berdasarkan persentase kerugian komersial terhadap 5% dari nilai penjualan air. ALI lebih relevan karena mengukur kerugian dalam hal pendapatan yang hilang, bukan hanya volume air.

Bab 6

Adopsi Teknologi Terkini Dalam Pengendalian NRW

Adopsi teknologi terkini dalam program pengendalian NRW sangat penting untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan air. Teknologi terbaru memungkinkan pengelola utilitas untuk mendeteksi kebocoran dan kerusakan infrastruktur lebih cepat dan akurat. Dengan menggunakan teknologi ini, pengelola dapat memonitor jaringan distribusi secara *real-time*, mengidentifikasi potensi masalah sebelum berkembang menjadi kebocoran besar, dan merespon secara proaktif terhadap permasalahan pengendalian NRW.



Gambar 6.1 Teknologi untuk Pengendalian NRW

Selain itu, teknologi terkini juga membantu dalam mengoptimalkan aliran dan distribusi air, mengurangi pemborosan, dan meminimalkan dampak finansial dari NRW. Dengan demikian, adopsi teknologi terkini tidak hanya berkontribusi pada pengurangan NRW, tetapi juga meningkatkan pelayanan kepada masyarakat dan keberlanjutan sumber daya air.

6.1 Teknologi Terkini

Berikut adalah beberapa teknologi terkini yang dapat diterapkan pada pengendalian NRW :

1. **Teknologi *Internet of Things (IoT)*** : Penggunaan perangkat IoT dalam pengelolaan air semakin meningkat. Sensor cerdas yang dipasang di berbagai titik jaringan distribusi dapat memantau aliran air secara *real-time*, mendeteksi kebocoran dengan cepat, dan memberikan data

yang akurat untuk pengambilan keputusan. Teknologi ini memungkinkan identifikasi masalah sebelum menjadi kerugian besar, sehingga perusahaan air dapat merespon lebih cepat dan mengurangi jumlah air yang hilang. *Internet of Things* (IoT) memainkan peran penting dalam pengendalian *Non-Revenue Water* (NRW) dengan memungkinkan pemantauan dan respon yang lebih komprehensif terhadap berbagai masalah yang menyebabkan NRW (Chasiotis dkk., 2023).

Sensor IoT dipasang di berbagai titik dalam jaringan distribusi air untuk memantau tekanan, aliran, kualitas air, dan kelembaban tanah secara *real-time*. Data yang dikumpulkan dikirimkan langsung ke pusat kontrol, memungkinkan operator untuk segera mendeteksi dan menanggapi kebocoran atau kerusakan sebelum masalah menjadi lebih serius. Selain itu, teknologi akustik berbasis IoT digunakan untuk mendeteksi suara kebocoran dalam pipa, dengan algoritma cerdas yang menganalisis dan menentukan lokasi kebocoran dengan presisi tinggi.

Pengelolaan tekanan jaringan juga dapat diotomatisasi dengan menggunakan IoT, yang memungkinkan penyesuaian tekanan secara dinamis untuk mengurangi risiko kebocoran akibat tekanan berlebihan. IoT juga mendukung pemeliharaan prediktif dengan menganalisis data historis dan *real-time* dari sensor untuk memprediksi kegagalan infrastruktur, sehingga memungkinkan pemeliharaan proaktif dan mengurangi risiko kebocoran.

Integrasi IoT dengan *Geographic Information System* (GIS) memberikan pandangan yang lebih detail tentang jaringan distribusi air, membantu operator dalam mengidentifikasi area bermasalah dan merencanakan perbaikan yang lebih efektif. Selain itu, meter air cerdas yang terhubung ke IoT memungkinkan pelanggan dan operator untuk memantau penggunaan air secara lebih akurat, membantu dalam mendeteksi anomali yang mungkin mengindikasikan

masalah di jaringan. Dengan meminimalkan kebocoran dan meningkatkan efisiensi operasional, IoT berperan besar dalam membantu perusahaan air mengurangi pemborosan air, menjaga kualitas air yang disalurkan, dan berkontribusi pada keberlanjutan jangka panjang.

2. **Teknologi AI dan Analitik Data** : Teknologi ini memberikan kemampuan analisis yang lebih mendalam terhadap data. Dengan memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin, sistem ini dapat mendeteksi pola yang tidak biasa atau anomali yang mungkin menunjukkan adanya kebocoran atau pencurian. Selain itu, AI dapat digunakan untuk memprediksi area yang rentan terhadap kebocoran, sehingga perusahaan air dapat melakukan perbaikan preventif (Safeer dkk., 2022).

Teknologi ini juga mendukung analisis prediktif, yang membantu perusahaan air memprediksi dan mencegah kegagalan infrastruktur melalui pemeliharaan preventif yang tepat waktu. Selain itu, AI memungkinkan optimalisasi distribusi air dan pengelolaan tekanan secara otomatis berdasarkan data *real-time*, mengurangi risiko kebocoran akibat tekanan yang tidak stabil.

Dengan mendukung pengambilan keputusan berbasis data, AI memungkinkan perusahaan air merencanakan pemeliharaan yang lebih efisien dan mengembangkan strategi jangka panjang untuk mengurangi NRW secara berkelanjutan. Secara keseluruhan, AI dan analitik data memberikan alat yang sangat efektif bagi perusahaan air untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan memastikan keandalan layanan air bagi pelanggan.

3. **Teknologi Sensor dan Meter Air Cerdas** : Sensor dan meter air cerdas yang dilengkapi dengan kemampuan komunikasi jarak jauh memberikan data konsumsi air secara *real-time* kepada perusahaan air. Meter air ini membantu

mengurangi kesalahan pengukuran, memastikan penagihan yang akurat, dan mendeteksi penggunaan air yang tidak wajar. Data yang dihasilkan oleh meter air cerdas juga dapat dianalisis untuk mengidentifikasi kebocoran pada tingkat rumah tangga atau area tertentu (Amir dkk., 2022)

Teknologi sensor dan meter air cerdas memainkan peran penting dalam pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) dengan meningkatkan kemampuan untuk mendeteksi, memantau, dan mengelola kebocoran serta penggunaan air yang tidak terdeteksi secara manual. Sensor tekanan dan aliran dipasang di berbagai titik strategis dalam jaringan distribusi air untuk memantau tekanan dan aliran secara *real-time*, memungkinkan deteksi kebocoran dengan cepat dan akurat, terutama kebocoran kecil yang sulit dideteksi secara manual. Selain itu, sensor akustik digunakan untuk mendeteksi suara kebocoran di dalam pipa, yang memungkinkan identifikasi kebocoran tersembunyi di lokasi yang sulit dijangkau.

Dengan pemantauan *real-time* yang terus-menerus, operator dapat segera mendeteksi masalah potensial dan meresponsnya secara otomatis, seperti dengan menutup katup atau menyesuaikan tekanan, sehingga mencegah pemborosan air yang lebih besar. Meter air cerdas juga memainkan peran kunci dengan memantau penggunaan air secara lebih akurat dan *real-time* di tingkat konsumen. Data yang dikumpulkan dari meter air ini memungkinkan deteksi anomali dalam konsumsi air, seperti lonjakan penggunaan yang dapat mengindikasikan kebocoran, dan memungkinkan tindakan korektif yang cepat.

Selain itu, teknologi ini membantu dalam pengelolaan tekanan dan distribusi air yang lebih baik, dengan menyesuaikan tekanan secara dinamis berdasarkan data *real-time* untuk mengurangi risiko kebocoran dan meningkatkan efisiensi operasional.

Analitik data yang didukung oleh sensor dan meter air cerdas juga memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan perencanaan jangka panjang yang lebih efektif dalam upaya pengurangan NRW, termasuk dalam perencanaan pemeliharaan dan alokasi sumber daya. Dengan mengurangi kebocoran dan meningkatkan efisiensi, teknologi ini berkontribusi pada pengurangan pemborosan air dan mendukung keberlanjutan sumber daya air secara keseluruhan (Chasiotis dkk., 2023).

4. **Teknologi Geospasial** : Teknologi ini berperan memberikan ketepatan lokasi spasial dan visualisasi dari jaringan distribusi air. Dengan pemetaan yang rinci, perusahaan air dapat lebih mudah mengidentifikasi lokasi kebocoran, melakukan analisis terhadap jaringan, dan merencanakan perbaikan infrastruktur dengan lebih efektif. Penerapan sistem pemetaan dan *Geographic Information System* (GIS) memegang peranan yang sangat strategis dalam pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) dengan menyediakan piranti untuk visualisasi, analisis, dan manajemen jaringan distribusi air (Nugroho, Utomo dan Iriawan, 2023).

Teknologi geospasial adalah teknologi yang memungkinkan perusahaan air untuk memetakan infrastruktur jaringan distribusi dengan tingkat detail yang sangat tinggi, termasuk jalur pipa, lokasi katup, meter air, dan elemen lain yang terkait. Dengan sistem pemetaan ini, perusahaan air dapat memperoleh gambaran visual yang komprehensif dari seluruh jaringan distribusi, yang sangat berguna dalam memantau kondisi jaringan secara *real-time* dan mengidentifikasi area yang berpotensi mengalami kebocoran atau kehilangan air.

Teknologi geospasial memungkinkan integrasi data dari berbagai sumber, termasuk data operasional, data tekanan, data aliran, serta informasi geografis dan demografis. Integrasi data ini memungkinkan perusahaan air untuk

melakukan analisis yang lebih mendalam dan tepat terhadap kondisi jaringan. Sebagai contoh, data tekanan dan aliran yang dikombinasikan dengan peta jaringan dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik-titik tekanan rendah atau area yang sering mengalami gangguan aliran, yang sering kali menjadi indikator awal adanya kebocoran atau masalah lain.

Dengan demikian, teknologi geospasial tidak hanya membantu dalam mendeteksi masalah, tetapi juga dalam memahami akar penyebabnya, sehingga memungkinkan intervensi yang lebih tepat sasaran dan efisien. Dalam konteks deteksi kebocoran, GIS sangat efektif dalam mengidentifikasi dan melacak lokasi kebocoran. Dengan peta jaringan yang akurat dan *real-time*, perusahaan air dapat dengan cepat menentukan lokasi kebocoran, bahkan di area yang sulit diakses atau tersembunyi. Ini sangat penting dalam upaya mengurangi waktu respon dan mempercepat proses perbaikan, sehingga kerugian air dapat diminimalkan.

Teknologi geospasial juga memungkinkan perusahaan air untuk melakukan analisis spasial yang mendalam, mengidentifikasi pola dan tren yang mungkin tidak terlihat dengan metode tradisional. Sebagai contoh, analisis spasial dapat digunakan untuk memetakan area yang sering mengalami kebocoran berulang atau mengidentifikasi bagian jaringan yang rentan terhadap tekanan berlebihan atau degradasi material.

6.2 Aplikasi Sistem Pemantauan *Real-Time*

Sistem pemantauan *real-time* untuk pemantauan kebocoran pipa telah menjadi elemen kunci dalam pengendalian NRW dan pemantauan aliran di jaringan distribusi. Sistem ini menggunakan berbagai sensor cerdas yang terhubung ke

jaringan untuk memberikan data secara langsung kepada operator dan manajer jaringan.

Beberapa fitur dan manfaat dari sistem pemantauan *real-time* ini meliputi (Chasiotis dkk., 2023):

1. **Pemantauan Aliran dan Tekanan:** Sistem pemantauan *real-time* juga mencakup sensor untuk memantau aliran dan tekanan air di berbagai titik dalam jaringan distribusi. Data yang dikumpulkan dapat dianalisis untuk mendeteksi kebocoran, blokade, atau variasi aliran yang tidak normal. Dengan data ini, perusahaan air dapat mengoptimalkan distribusi, mengurangi risiko kebocoran, dan memastikan pasokan air yang stabil.
2. **Integrasi dengan *Geographic Information System* (GIS):** Banyak sistem pemantauan *real-time* yang terintegrasi dengan GIS untuk memberikan visualisasi yang lebih baik dari kondisi jaringan distribusi. Ini memungkinkan operator untuk memetakan lokasi masalah secara akurat, seperti kebocoran atau perubahan kualitas air, dan merespon dengan lebih cepat dan tepat.
3. **Automasi dan Respon Cepat:** Dengan sistem pemantauan *real-time*, respon terhadap masalah dalam jaringan distribusi air dapat diotomatisasi.
4. **Pengumpulan dan Analisis Data:** Sistem ini tidak hanya memantau tetapi juga mengumpulkan data secara terus-menerus yang kemudian dapat dianalisis untuk pemeliharaan prediktif. Dengan analisis data, perusahaan air dapat mengidentifikasi tren dan pola yang menunjukkan potensi masalah sebelum terjadi, memungkinkan tindakan pencegahan yang lebih efektif.
5. **Pengelolaan dari Jarak Jauh:** Sistem pemantauan *real-time* memungkinkan pengelolaan jaringan distribusi air dari jarak jauh melalui pusat kontrol. Dengan akses ke data secara *real-time*, operator dapat memantau dan mengendalikan seluruh sistem tanpa

harus berada di lokasi fisik, yang sangat berguna dalam situasi darurat atau di area yang sulit dijangkau.

Sistem pemantauan *real-time* adalah teknologi penting dalam pemantauan kebocoran jaringan distribusi air yang bertujuan untuk mengelola *Non-Revenue Water* (NRW) secara efektif. Sistem ini menggunakan jaringan sensor yang ditempatkan strategis di seluruh jaringan distribusi air untuk memantau berbagai parameter seperti tekanan, aliran, dan kualitas air secara terus-menerus. Sensor-sensor ini terhubung ke pusat kontrol melalui jaringan komunikasi, yang memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* dan memberikan visibilitas penuh terhadap kondisi jaringan.

Dengan sistem pemantauan *real-time*, operator dapat segera mendeteksi anomali atau perubahan yang tidak biasa, seperti penurunan tekanan mendadak atau aliran air yang tidak sesuai dengan pola normal. Anomali ini sering kali merupakan indikator awal adanya kebocoran atau masalah lain dalam jaringan. Ketika masalah terdeteksi, sistem dapat mengirimkan peringatan otomatis ke tim teknis, memungkinkan mereka untuk merespon secara cepat dan tepat sebelum kebocoran tersebut menyebabkan kerugian air yang lebih besar (Chasiotis dkk., 2023).

Selain deteksi dini, sistem pemantauan *real-time* juga memungkinkan pengelolaan tekanan yang lebih baik dalam jaringan distribusi. Dengan data *real-time*, operator dapat menyesuaikan tekanan air secara dinamis untuk mencegah kebocoran yang disebabkan oleh tekanan berlebihan, serta memastikan distribusi air yang lebih efisien dan stabil. Ini tidak hanya mengurangi tingkat NRW, tetapi juga meningkatkan usia guna infrastruktur jaringan. Sistem ini juga biasanya terintegrasi dengan perangkat lunak analitik yang didukung oleh kecerdasan buatan (AI) dan machine learning. Teknologi ini dapat menganalisis data yang dikumpulkan untuk mendeteksi pola yang mungkin tidak terlihat secara manual, memprediksi area yang berisiko tinggi mengalami kebocoran, dan merencanakan pemeliharaan preventif. Dengan kemampuan prediktif ini, perusahaan air dapat mengambil langkah proaktif untuk mencegah kebocoran sebelum terjadi, sehingga lebih menghemat biaya dan mengurangi kehilangan air (Safeer dkk., 2022).

Secara keseluruhan, sistem pemantauan *real-time* menawarkan solusi yang sangat efektif untuk mengelola NRW dengan lebih baik. Dengan memberikan visibilitas langsung dan terus-menerus terhadap kondisi jaringan, sistem ini memungkinkan deteksi kebocoran yang lebih cepat, respon yang lebih efektif, serta pengelolaan tekanan dan aliran yang lebih optimal, yang semuanya berkontribusi pada pengurangan NRW dan peningkatan efisiensi operasional jaringan distribusi air.

Sensor deteksi kebocoran pipa adalah salah satu teknologi yang semakin berkembang dan memainkan peran penting dalam pengelolaan jaringan distribusi air. (Amir dkk., 2022). Sensor dengan teknologi terbaru saat ini dirancang untuk mendeteksi kebocoran dengan lebih akurat dan responsif, sehingga perusahaan air dapat mengurangi kehilangan air dan meningkatkan efisiensi operasional. Berikut beberapa jenis sensor terbaru yang dapat diaplikasikan dalam sistem penyediaan air :

- **Sensor Akustik:**

Sensor ini mendeteksi suara yang dihasilkan oleh kebocoran air dalam pipa. Teknologi ini telah mengalami peningkatan dengan kemampuan yang lebih sensitif dan presisi tinggi dalam mendeteksi suara kebocoran, bahkan pada tekanan air yang rendah atau di lingkungan yang bising. Sensor akustik ini dapat dipasang secara permanen di sepanjang jaringan pipa atau digunakan dalam perangkat portabel untuk inspeksi lapangan.

- **Sensor Fiber Optik:**

Teknologi fiber optik menawarkan kepekaan yang sangat tinggi terhadap perubahan fisik di sekitar pipa, seperti getaran atau perubahan suhu yang dapat mengindikasikan kebocoran. Serat optik dapat dipasang di sepanjang pipa dan memonitor kondisi pipa secara kontinu. Sensor ini memiliki keunggulan dalam hal

deteksi kebocoran pada jarak jauh dan di lingkungan yang sulit diakses.

- **Sensor Ultrasonik:**

Sensor ultrasonik mengukur aliran air dalam pipa dan mendeteksi perubahan dalam pola aliran yang mungkin disebabkan oleh kebocoran. Sensor ini sangat efektif untuk mendeteksi kebocoran kecil yang mungkin tidak terdeteksi oleh metode lain. Teknologi ultrasonik terbaru memungkinkan deteksi yang lebih cepat dan akurat, serta dapat digunakan dalam pipa dengan berbagai ukuran.

- **Sensor Gas Hidrogen:**

Beberapa sistem deteksi kebocoran menggunakan gas hidrogen sebagai media deteksi. Gas ini dimasukkan ke dalam pipa, dan sensor yang sangat sensitif kemudian mendeteksi gas yang keluar dari pipa akibat kebocoran. Sensor ini sangat efektif untuk mendeteksi kebocoran pada pipa bawah tanah atau pipa yang sulit dijangkau.

- **Sensor Tekanan :**

Sensor tekanan dipasang di titik-titik tertentu dalam jaringan distribusi untuk memantau tekanan air dan mendeteksi perubahan tekanan yang mungkin menunjukkan kebocoran. Sensor ini memungkinkan pemantauan berkelanjutan dan deteksi perubahan tekanan yang mendadak, sehingga berguna untuk mengidentifikasi kebocoran besar atau gangguan dalam pola aliran. Namun, sensor tekanan mungkin kurang efektif dalam mendeteksi kebocoran kecil yang tidak menyebabkan perubahan tekanan yang signifikan, sehingga sering kali perlu dikombinasikan dengan teknologi lain.

- **Sensor Aliran :**

Sensor aliran mengukur volume atau laju aliran air dalam pipa, dengan perubahan signifikan dalam aliran

yang dapat menandakan adanya kebocoran. Teknologi ini memudahkan pemantauan aliran di berbagai titik dalam jaringan dan mendeteksi perubahan besar dalam pola aliran. Meski demikian, sensor ini memerlukan kalibrasi yang akurat untuk menghindari kesalahan deteksi dan mungkin tidak mendeteksi kebocoran kecil yang tidak menyebabkan perubahan besar dalam aliran air.

- **Sensor Suhu :**

Sensor suhu memantau suhu air dalam pipa, dengan perubahan suhu yang tidak normal dapat menunjukkan adanya kebocoran atau infiltrasi. Ini berguna untuk mendeteksi kebocoran di pipa yang mengalami perbedaan suhu yang jelas. Namun, sensor suhu dapat dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti cuaca atau variasi penggunaan air, sehingga hasil deteksi mungkin tidak selalu akurat tanpa dukungan teknologi tambahan.

- **Sensor Akustik Korosi :**

Sensor akustik korosi mendeteksi perubahan suara yang disebabkan oleh korosi atau kerusakan pada pipa. Sensor ini berguna untuk mengidentifikasi potensi masalah sebelum kebocoran besar terjadi, terutama pada pipa yang telah mengalami korosi. Kelebihan utamanya adalah kemampuannya dalam deteksi dini masalah, tetapi sensor ini memerlukan pemeliharaan dan kalibrasi yang rutin untuk memastikan keakuratan hasil.

- **Sensor Optik :**

Sensor optik menggunakan cahaya untuk mendeteksi perubahan dalam kondisi pipa dan mengidentifikasi kebocoran. Teknologi ini sangat sensitif terhadap perubahan kecil dan ideal untuk lingkungan yang stabil dan terkendali. Namun, sensor ini memerlukan kondisi lingkungan yang bebas dari gangguan cahaya eksternal untuk berfungsi dengan baik, yang bisa membatasi penggunaannya dalam beberapa situasi.

- **Sensor Elektroakustik :**

Sensor elektroakustik memanfaatkan teknologi elektroakustik untuk mendeteksi gelombang suara yang dipantulkan oleh kebocoran dalam pipa dari jarak jauh. Ini memungkinkan deteksi kebocoran dalam berbagai kondisi lingkungan dan pada pipa yang sulit diakses. Meskipun menawarkan fleksibilitas dan kemampuan deteksi yang luas, sensor ini memerlukan instalasi yang kompleks dan bisa terpengaruh oleh interferensi elektromagnetik.

- **Sensor Kimia :**

Sensor kimia mendeteksi perubahan dalam komposisi air, seperti pH atau konsentrasi bahan kimia, yang bisa menandakan adanya kebocoran atau infiltrasi. Teknologi ini sangat berguna untuk mendeteksi kebocoran yang mempengaruhi kualitas air. Namun, sensor ini dapat dipengaruhi oleh fluktuasi alami dalam kualitas air dan memerlukan kalibrasi yang tepat untuk menjaga akurasi deteksi.

- **Sensor Radar :**

Sensor radar menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi perubahan dalam pipa dan mengidentifikasi kebocoran. Teknologi ini sangat akurat dalam mendeteksi kebocoran di pipa yang tersembunyi atau terbenam. Kelebihan utamanya adalah kemampuannya untuk mendeteksi kebocoran dengan akurasi tinggi, tetapi sensor radar memerlukan instalasi yang rumit dan dapat terpengaruh oleh interferensi elektromagnetik.

Setiap jenis sensor menawarkan kelebihan yang berbeda dalam hal deteksi kebocoran, tetapi juga memiliki kekurangan yang dapat mempengaruhi efektivitasnya. Oleh karena itu, sering kali

diperlukan kombinasi berbagai sensor untuk memastikan deteksi kebocoran yang lebih akurat dan efisien dalam jaringan distribusi air. Dalam sistem deteksi kebocoran pipa, berbagai jenis sensor diintegrasikan untuk membentuk solusi yang menyeluruh dan efektif. Sensor akustik dan sensor tekanan, misalnya, dipasang di berbagai titik dalam jaringan pipa untuk mengumpulkan data tentang suara kebocoran dan fluktuasi tekanan. Sementara itu, sensor aliran dan sensor suhu memantau volume aliran dan suhu air, membantu mendeteksi perubahan yang dapat mengindikasikan kebocoran. Sensor akustik korosi memantau suara yang dihasilkan oleh korosi pada pipa, sementara sensor kimia mengukur perubahan dalam kualitas air yang mungkin menunjukkan infiltrasi atau kebocoran. Sensor optik dan radar, yang menggunakan cahaya dan gelombang elektromagnetik, mendeteksi perubahan fisik pada pipa dan lingkungan sekitarnya.

Dengan mengintegrasikan berbagai jenis sensor dalam sistem deteksi kebocoran pipa, maka jaringan distribusi air dapat dikelola dengan lebih efektif. Kombinasi data dari sensor yang berbeda memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi pipa, memungkinkan deteksi dini kebocoran, dan meminimalkan dampak kerusakan, dengan langkah praktis sebagai berikut :

1. Sistem deteksi kebocoran pada jaringan distribusi air melibatkan penggunaan berbagai sensor yang tersebar di seluruh jaringan pipa.
2. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini, seperti tekanan air, aliran, dan deteksi suara, dikirim ke sistem pemantauan pusat melalui jaringan komunikasi yang dapat berupa kabel, Wi-Fi, atau jaringan seluler.
3. Sistem pemantauan pusat ini dilengkapi dengan perangkat lunak analitik yang menggunakan algoritma dan kecerdasan buatan (AI) untuk memproses data, mengidentifikasi pola, serta mendeteksi anomali.
4. Dengan menggabungkan data dari berbagai sensor, sistem mampu memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kondisi jaringan pipa, sehingga memungkinkan deteksi kebocoran secara lebih dini dan akurat.

5. Ketika sistem mendeteksi adanya kebocoran atau masalah lain pada jaringan, notifikasi dan peringatan otomatis dikirim kepada operator atau teknisi melalui berbagai saluran komunikasi seperti pesan teks, email, atau notifikasi langsung.

Dalam beberapa kasus, sistem ini juga dapat terhubung dengan kontrol otomatis seperti katup dan pompa, yang memungkinkan penutupan katup atau pengaturan pompa secara otomatis guna mengurangi dampak kebocoran. Selain itu, data yang dikumpulkan dari sensor-sensor ini sangat berharga untuk perencanaan pemeliharaan preventif dan perbaikan, sehingga tim pemeliharaan dapat merespon dengan lebih cepat dan efisien.

Sistem ini memungkinkan pemantauan real-time dari kondisi jaringan pipa, dengan data yang terus-menerus dikumpulkan dan dianalisis untuk mendeteksi kebocoran lebih awal, serta mengurangi risiko kerusakan lebih lanjut. Selain itu, data historis dari sensor digunakan untuk analisis tren dan perencanaan pemeliharaan jangka panjang, membantu mengidentifikasi masalah yang sering terjadi dan merencanakan peningkatan infrastruktur. Dengan integrasi berbagai sensor dalam sistem deteksi kebocoran, tercipta pendekatan yang komprehensif dan efektif dalam pengelolaan dan pemeliharaan jaringan distribusi air, sehingga memastikan keberlanjutan layanan air minum yang lebih baik.

6.3 Aplikasi Teknologi Geospasial

Teknologi geospasial telah menjadi alat yang penting dalam pengelolaan jaringan distribusi air, terutama dalam hal identifikasi dan mitigasi kebocoran pipa. Dengan memanfaatkan pemetaan dan pemodelan 3D, serta metode inspeksi yang canggih, perusahaan air dapat memantau, menganalisis, dan merespon masalah kebocoran dengan lebih efisien dan efektif (Srivastava dan Yaduvanshi, 2016).

Teknologi Geospasial juga diterapkan dalam berbagai metode inspeksi pipa yang bertujuan untuk mendeteksi kebocoran dan kerusakan dengan lebih akurat. Teknologi geospasial memainkan peran krusial dalam modernisasi pengelolaan jaringan distribusi air. Dengan pemetaan dan pemodelan 3D, serta inspeksi berbasis

geospasial, perusahaan air dapat mengidentifikasi kebocoran dengan lebih akurat dan merespon masalah secara lebih efisien, sehingga mengurangi kehilangan air dan meningkatkan efisiensi operasional. Penggunaan teknologi geospasial dalam inspeksi kebocoran pipa meningkatkan efisiensi dan akurasi deteksi masalah dalam jaringan distribusi air.

Pemetaan yang terintegrasi dalam *Geographic Information System* (GIS), memungkinkan untuk mengumpulkan dan menyimpan data geografis tentang lokasi pipa, katup, dan pompa, serta elemen lainnya dalam jaringan distribusi. GIS juga memungkinkan pembuatan peta digital yang mendetail, menggambarkan pipa yang tersembunyi di bawah tanah dan struktur di sekitarnya. Teknologi ini kemudian digunakan untuk analisis spasial dan pemodelan, mengintegrasikan data dari sensor untuk mengidentifikasi area berisiko tinggi yang mungkin mengalami kebocoran, dengan visualisasi perubahan tekanan atau aliran dalam konteks geografis yang membantu mengarahkan inspeksi ke lokasi yang paling mungkin mengalami masalah.

Selain itu, terdapat pemetaan dan pemodelan 3D sebagai teknologi yang memungkinkan visualisasi dan analisis yang lebih mendalam terhadap jaringan distribusi air. Teknik ini digunakan untuk meningkatkan perencanaan, pengelolaan, dan pemeliharaan infrastruktur distribusi air. Teknologi ini melibatkan penggunaan *Geographic Information System* (GIS) dan perangkat lunak pemodelan 3D untuk menciptakan representasi visual yang rinci dari jaringan pipa dan elemen terkait. Data dari GIS dapat digunakan untuk membuat model 3D yang menyediakan tampilan tiga dimensi dari jaringan distribusi. Model ini memungkinkan visualisasi mendetail dari jaringan pipa dalam tanah dan elemen lainnya yang mungkin sulit dilihat secara langsung.

Dengan model 3D, pengelola jaringan dapat melakukan analisis mendalam tentang berbagai aspek operasional. Misalnya, pemodelan 3D dapat digunakan untuk menganalisis aliran air dan tekanan dalam sistem, mengidentifikasi potensi area kerentanan, dan merencanakan pemeliharaan atau perbaikan dengan lebih efektif. Model ini juga membantu dalam perencanaan ekspansi atau peningkatan infrastruktur, dengan memungkinkan simulasi berbagai skenario dan

evaluasi dampaknya terhadap jaringan yang ada. Selain itu, pemodelan 3D memungkinkan pemantauan dan analisis yang lebih baik terhadap interaksi antara berbagai elemen jaringan, seperti bagaimana perubahan pada satu bagian jaringan dapat mempengaruhi bagian lainnya. Ini sangat berguna dalam perencanaan pemeliharaan preventif dan mitigasi risiko, serta dalam mengidentifikasi dan menangani masalah secara lebih proaktif.

Dengan menggunakan pemetaan dan pemodelan 3D, pengelola jaringan distribusi air dapat mengoptimalkan perencanaan dan pengelolaan infrastruktur, mengurangi risiko kerusakan, dan meningkatkan efisiensi operasional. Teknologi ini memberikan wawasan yang lebih mendalam dan visualisasi yang jelas, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dan perbaikan yang lebih tepat waktu dalam sistem distribusi air (Srivastava dan Yaduvanshi, 2016).

Berikut adalah langkah-langkah pemodelan 3D yang digunakan dalam jaringan distribusi air minum :

- **Visualisasi Jaringan yang Mendetail:** Dengan menggunakan data geospasial, perusahaan air dapat membuat model 3D yang rinci dari seluruh jaringan distribusi air, termasuk pipa, katup, sambungan, dan infrastruktur terkait lainnya. Visualisasi ini memungkinkan operator untuk melihat bagaimana jaringan berinteraksi dengan lingkungan sekitarnya, seperti bangunan, jalan, dan fitur topografi. Hal ini mempermudah identifikasi area yang rawan kebocoran atau masalah lainnya.
- **Simulasi Aliran Air:** Pemodelan 3D memungkinkan simulasi aliran air dalam jaringan distribusi, yang membantu dalam analisis bagaimana air mengalir di bawah kondisi normal maupun saat terjadi gangguan seperti kebocoran atau tekanan rendah. Simulasi ini dapat mengidentifikasi titik-titik potensial di mana kebocoran kemungkinan besar terjadi, serta memberikan wawasan tentang dampak kebocoran pada keseluruhan sistem.

- **Analisis Tekanan pada Pipa:** Dengan pemodelan 3D, perusahaan air dapat menganalisis tekanan yang terjadi pada pipa di berbagai bagian jaringan. Ini sangat penting untuk memahami area mana yang mungkin berisiko tinggi mengalami kebocoran akibat keausan atau tekanan yang berlebihan. Data ini memungkinkan perencanaan pemeliharaan preventif dan penggantian pipa yang lebih terfokus.
- **Integrasi dengan Data *Real-time*:** Pemetaan 3D dapat diintegrasikan dengan data *real-time* dari sensor yang dipasang di jaringan. Ini memungkinkan pemantauan kondisi jaringan secara langsung dan respon cepat terhadap anomali yang terdeteksi, seperti penurunan tekanan atau perubahan aliran yang mungkin mengindikasikan kebocoran.

6.4 Aplikasi *Internet of Things* (IoT)

Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah merevolusi banyak industri, termasuk manajemen air, dengan menawarkan solusi cerdas untuk mendeteksi, memantau, dan mengelola sistem distribusi air. Penggunaan teknologi IoT dalam manajemen air tidak hanya meningkatkan kemampuan deteksi dan pemantauan tetapi juga mempercepat respon terhadap masalah, mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan efisiensi serta keandalan jaringan distribusi air. Dengan implementasi yang tepat, teknologi ini dapat membantu perusahaan air menyediakan layanan yang lebih baik dan mengurangi kehilangan air secara signifikan. Sistem otomatisasi dengan IoT (Internet of Things) untuk optimalisasi jaringan distribusi air mengintegrasikan teknologi sensor dan kontrol otomatis untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem distribusi air (Chasiotis dkk., 2023).

Dalam sistem ini, sensor IoT dipasang di berbagai titik dalam jaringan distribusi untuk memantau berbagai parameter, seperti tekanan, aliran, dan kualitas air. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirim secara *real-time* ke pusat pemantauan melalui koneksi nirkabel, seperti Wi-Fi atau jaringan seluler. Di pusat

pemantauan, perangkat lunak analitik dan kecerdasan buatan (AI) menganalisis data dari sensor untuk mengidentifikasi pola dan anomali dalam jaringan distribusi. Algoritma AI dapat memprediksi kebutuhan air berdasarkan pola konsumsi dan kondisi jaringan, serta mendeteksi masalah seperti kebocoran atau gangguan. Berdasarkan analisis ini, sistem otomatisasi dapat mengatur katup, pompa, dan peralatan lainnya secara otomatis untuk mengoptimalkan aliran air, menjaga tekanan yang stabil, dan mengurangi pemborosan (Safeer dkk., 2022).

Apabila sensor mendeteksi tekanan yang rendah di suatu area, sistem otomatisasi dapat secara otomatis menyesuaikan katup untuk meningkatkan tekanan atau mengaktifkan pompa tambahan untuk meningkatkan aliran air. Sebaliknya, jika terdeteksi adanya kebocoran, sistem dapat menutup katup yang terpengaruh atau mengalihkan aliran air untuk meminimalkan kerugian. Selain itu, sistem ini dapat mengatur jadwal pemeliharaan preventif berdasarkan data historis dan analisis tren, mengurangi risiko kerusakan dan meningkatkan umur panjang infrastruktur. Dengan sistem otomatisasi berbasis IoT, pengelola jaringan distribusi air dapat merespon dengan cepat terhadap perubahan dan masalah, mengoptimalkan operasi sehari-hari, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan. Implementasi ini mengurangi biaya operasional, meminimalkan pemborosan air, dan memastikan pasokan air yang lebih andal bagi konsumen. Integrasi teknologi IoT dalam sistem distribusi air menjadikan manajemen jaringan lebih cerdas dan responsif terhadap kebutuhan dan tantangan yang ada (Chasiotis dkk., 2023).

Sistem otomatisasi berbasis IoT memainkan peran penting dalam optimalisasi jaringan distribusi air dengan cara-cara berikut:

- **Pengendalian Tekanan Kerja (*Work Pressure*)** : IoT memungkinkan penyesuaian otomatis tekanan air di berbagai bagian jaringan berdasarkan permintaan dan kondisi yang terpantau. Sensor tekanan yang terhubung dengan sistem otomatis dapat menyesuaikan tekanan di pipa untuk mengurangi risiko kebocoran di area dengan tekanan tinggi dan memastikan aliran yang stabil ke semua bagian jaringan.

- **Pengendalian Katup (*Valve*)** : Katup otomatis yang dikendalikan oleh sensor IoT dapat membuka atau menutup aliran air secara otomatis berdasarkan kondisi yang terpantau. Misalnya, jika sensor mendeteksi kebocoran, sistem dapat segera menutup katup di dekat lokasi kebocoran untuk mencegah kehilangan air yang lebih besar.
- **Pengendalian Pompa** : Pompa air yang dilengkapi dengan sensor IoT dapat diatur untuk beroperasi secara lebih efisien, menyesuaikan kinerjanya berdasarkan kebutuhan nyata dari jaringan. Ini tidak hanya mengurangi biaya energi tetapi juga memperpanjang umur peralatan.
- **Penggunaan Energi yang Efisien**: Sensor IoT dapat memantau konsumsi energi dari peralatan seperti pompa dan sistem pemanas air. Data ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan penggunaan energi, mengurangi biaya operasional, dan meminimalkan dampak lingkungan.
- **Pemeliharaan Prediktif Jaringan** : Dengan IoT, data yang dikumpulkan dari berbagai sensor dapat dianalisis untuk memprediksi kapan dan di mana pemeliharaan diperlukan. Ini memungkinkan pemeliharaan berbasis kondisi daripada pemeliharaan berbasis waktu, yang lebih efisien dan mencegah kerusakan sebelum terjadi.
- **Peningkatan Respon terhadap Insiden**: Dengan sistem otomatisasi berbasis IoT, respon terhadap insiden seperti kebocoran atau penurunan kualitas air dapat dilakukan secara cepat dan otomatis. Sistem dapat mengisolasi bagian jaringan yang bermasalah, mengalihkan aliran air, atau menyesuaikan kondisi operasional untuk menjaga stabilitas dan kualitas layanan.
- **Pemantauan Kualitas Air** : Sensor IoT dapat dipasang untuk memantau parameter kualitas air seperti pH, kadar klorin, kekeruhan, dan suhu. Sistem otomatis dapat segera menyesuaikan kondisi pengolahan air atau

memberikan peringatan jika parameter kualitas air berada di luar batas yang diizinkan.

Implementasi jaringan sensor IoT (Internet of Things) untuk deteksi dini kebocoran merupakan pendekatan canggih dalam pengelolaan sistem distribusi air. Dalam sistem ini, berbagai sensor IoT, termasuk sensor akustik, tekanan, aliran, dan suhu, dipasang di lokasi strategis sepanjang jaringan pipa. Sensor akustik menangkap suara kebocoran, sensor tekanan memantau fluktuasi tekanan, sensor aliran mengukur volume air yang mengalir, dan sensor suhu mendeteksi perubahan suhu yang mungkin menunjukkan adanya kebocoran atau infiltrasi. Data dari sensor-sensor ini dikirim secara *real-time* ke pusat pemantauan menggunakan koneksi nirkabel seperti Wi-Fi atau jaringan seluler, lalu diolah di platform berbasis cloud atau server lokal. Di platform ini, algoritma kecerdasan buatan (AI) dan analitik data menganalisis informasi untuk mendeteksi pola dan anomali yang dapat mengindikasikan kebocoran.

Ketika sistem mendeteksi potensi kebocoran, notifikasi dan peringatan otomatis dikirim ke operator atau teknisi melalui aplikasi atau sistem manajemen berbasis web, memberikan informasi rinci mengenai lokasi dan kemungkinan penyebab kebocoran. Peringatan ini dapat berupa pesan teks, e-mail, atau notifikasi langsung, yang memungkinkan tim pemeliharaan merespon dengan cepat. Selain itu, sistem ini memungkinkan pemantauan berkelanjutan dari kondisi jaringan pipa, dengan data historis yang digunakan untuk analisis tren dan perencanaan pemeliharaan jangka panjang. Implementasi jaringan sensor IoT meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya pemeliharaan, dan memastikan ketersediaan air yang lebih baik dengan memungkinkan deteksi kebocoran secara dini dan pengurangan dampak kerusakan. Implementasi jaringan sensor ini sangat efektif untuk deteksi dini kebocoran dengan cara-cara berikut:

- **Pemantauan *Real-time*:** Sensor IoT yang dipasang di sepanjang jaringan pipa dapat memantau aliran air, tekanan, dan kondisi pipa secara *real-time*. Sensor ini terus mengirimkan data ke pusat kontrol, memungkinkan deteksi cepat terhadap anomali seperti penurunan tekanan atau perubahan aliran yang dapat mengindikasikan kebocoran.

- **Deteksi Akustik:** Sensor IoT akustik mendeteksi suara kebocoran yang dihasilkan oleh air yang keluar dari pipa yang bocor. Sensor ini dapat diintegrasikan dengan algoritma kecerdasan buatan (AI) yang dapat membedakan suara kebocoran dari suara lain di sekitar pipa, memberikan deteksi yang lebih akurat.
- **Teknologi Ultrasonik:** Sensor ultrasonik IoT digunakan untuk mengukur aliran air dan mendeteksi perbedaan aliran yang mungkin menunjukkan adanya kebocoran. Sensor ini sangat efektif dalam mendeteksi kebocoran kecil yang mungkin tidak terdeteksi oleh sensor lainnya.
- **Peringatan Otomatis:** Ketika sensor mendeteksi anomali yang mungkin menunjukkan kebocoran, sistem IoT secara otomatis mengirimkan peringatan kepada operator melalui perangkat lunak manajemen atau aplikasi mobile. Ini memungkinkan respon yang cepat sebelum kebocoran menjadi masalah yang lebih besar.
- **Integrasi dengan GIS:** Data yang dikumpulkan dari sensor IoT dapat diintegrasikan dengan *Geographic Information System* (GIS) untuk memberikan visualisasi lokasi kebocoran yang lebih jelas dan mempermudah penanganan.

STUDI KASUS : PENERAPAN TEKNOLOGI DIGITAL DI BEBERAPA NEGARA

Beberapa negara telah berhasil menerapkan teknologi digital dalam pengendalian NRW untuk mengoptimalkan pemantauan dan pemeliharaan sistem distribusi air, meliputi :

1. Singapura: *Smart Water Management* dengan teknologi IoT

Singapura merupakan salah satu negara yang sangat maju dalam pengelolaan air dan pemantauan NRW. *PUB Singapore (Public Utilities Board)* menggunakan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau sistem distribusi air mereka. Mereka telah

mengimplementasikan sistem sensor di berbagai titik dalam jaringan distribusi untuk mendeteksi kebocoran secara real-time. Selain itu, mereka juga menggunakan analisis data besar (*big data*) untuk memprediksi kemungkinan kebocoran dan menganalisis pola aliran air untuk mengidentifikasi area yang membutuhkan perhatian lebih.

Teknologi ini juga terintegrasi dengan aplikasi *Smart Water* yang memungkinkan pemantauan penggunaan air dan pelaporan kebocoran secara langsung dari masyarakat.

2. Spanyol: Sistem Pemantauan Berbasis SCADA di Barcelona

Di Barcelona, Spanyol, perusahaan utilitas air *Aigües de Barcelona* menggunakan sistem SCADA untuk memantau jaringan distribusi air. Dengan menggunakan SCADA, mereka dapat mendeteksi perubahan dalam tekanan dan aliran air, yang mengindikasikan kebocoran atau kerusakan pada sistem. Selain itu, mereka juga menggunakan teknologi sensor untuk memantau kualitas air dan mendeteksi kebocoran yang sulit terdeteksi dengan metode konvensional.

Barcelona juga mengembangkan teknologi yang disebut *Water Demand Management System* (WDMS), yang membantu mengelola konsumsi air dan mengurangi NRW dengan memprediksi pola permintaan air dan mengoptimalkan distribusi air secara real-time.

3. Australia: WaterCorp di Perth

Di Perth, Australia, perusahaan pengelola air *WaterCorp* telah mengimplementasikan teknologi canggih untuk mengurangi NRW. Mereka menggunakan sensor berbasis IoT untuk mendeteksi kebocoran di seluruh jaringan distribusi. Selain itu, mereka juga menggunakan teknologi geolokasi untuk mempermudah proses deteksi kebocoran dan mempercepat perbaikan. Sistem pemantauan ini mengurangi waktu respons dan meningkatkan efisiensi dalam mengelola jaringan distribusi air.

WaterCorp juga menggunakan analisis data dan machine learning untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kebocoran dan mengoptimalkan aliran air agar lebih efisien.

4. Jerman: Pemantauan Kualitas Air dengan *Blockchain* di Berlin

Di Berlin, Jerman, *Berliner Wasserbetriebe* (BWB) telah mulai menguji penggunaan teknologi blockchain untuk memantau dan merekam data distribusi air, termasuk kebocoran dan pemeliharaan. Blockchain memberikan transparansi dan keandalan data karena setiap catatan yang dihasilkan dalam sistem tidak dapat diubah, yang memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap proses pengelolaan air.

BWB juga mengintegrasikan teknologi pemantauan berbasis SCADA dan sensor untuk memantau tekanan dan aliran air dalam jaringan mereka, mengurangi NRW, serta memastikan pengelolaan yang efisien.

5. Meksiko: Pemantauan Kebocoran di Mexico City

Di Mexico City, salah satu kota dengan tingkat NRW yang tinggi, perusahaan air *Sistema de Aguas de la Ciudad de México* (SACMEX) telah mengadopsi teknologi untuk memantau dan mengurangi kebocoran di jaringan distribusi mereka. Mereka menggunakan sensor pintar yang terpasang pada pipa untuk mendeteksi kebocoran dengan akurat dan dalam waktu yang lebih cepat. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini kemudian dianalisis dengan perangkat lunak untuk mendeteksi pola dan memprediksi potensi kebocoran lainnya.

Selain itu, mereka juga melibatkan masyarakat dalam pelaporan kebocoran melalui aplikasi mobile yang memungkinkan warga untuk langsung melaporkan masalah kebocoran atau kerusakan di jaringan.

6. India: Pemantauan Air di Chennai

Di Chennai, India, *Chennai Rivers Restoration Trust* telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis teknologi digital untuk mengelola pasokan air dan mengurangi NRW. Mereka menggunakan teknologi SCADA untuk memantau aliran dan tekanan air dalam jaringan distribusi, serta teknologi IoT untuk mendeteksi kebocoran secara lebih akurat. Selain itu, mereka juga

menggunakan analitik prediktif untuk memproyeksikan kebutuhan air dan mengelola distribusi secara lebih efisien.

Intisari Bab 6 :

1. **Pentingnya Teknologi Terkini:** Teknologi terkini membantu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pengelolaan air dengan mendeteksi kebocoran dan kerusakan infrastruktur secara lebih cepat dan akurat, memonitor jaringan distribusi secara real-time, serta mengoptimalkan aliran dan distribusi air.
2. **Internet of Things (IoT):** Teknologi IoT memungkinkan pemantauan real-time jaringan distribusi air, deteksi kebocoran, dan pemeliharaan prediktif. Integrasi IoT dengan GIS mempermudah identifikasi masalah dan perencanaan perbaikan. IoT juga mendukung pengelolaan tekanan dan penggunaan meter air cerdas untuk deteksi kebocoran dan anomali.
3. **AI dan Analitik Data:** AI memberikan analisis prediktif untuk mendeteksi kebocoran dan kerusakan, serta mengoptimalkan distribusi air dan pengelolaan tekanan. Ini membantu perencanaan pemeliharaan yang lebih efisien dan pengurangan biaya serta meningkatkan efisiensi operasional.
4. **Sensor dan Meter Air Cerdas:** Sensor cerdas dan meter air yang terhubung dengan IoT memungkinkan deteksi kebocoran dan pengelolaan penggunaan air secara real-time. Teknologi ini mendukung deteksi kebocoran yang lebih akurat dan mengurangi pemborosan air.
5. **Teknologi Geospasial :** Teknologi Geospasial membantu pemetaan dan visualisasi jaringan distribusi air, memungkinkan identifikasi lokasi kebocoran dan analisis kondisi jaringan secara lebih efisien. Teknologi ini juga mendukung analisis spasial untuk memahami akar penyebab masalah dan mempercepat perbaikan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Bab 7

Keberlanjutan dalam Pengendalian NRW

7.1 Aspek Sosial

Angka NRW yang tinggi pada jaringan distribusi air minum dapat menimbulkan dampak sosial dan ekonomi yang luas dan mendalam. Salah satu dampak utama adalah penurunan akses terhadap air minum. Ketika tingkat NRW tinggi, banyak air yang tidak dapat dimanfaatkan oleh konsumen. Hal ini menyebabkan pasokan air minum menjadi tidak konsisten, sehingga mengurangi ketersediaan air bagi masyarakat. Keterbatasan akses ini dapat mempengaruhi kualitas hidup sehari-hari, termasuk akses ke air untuk minum, sanitasi, dan kebersihan, serta meningkatkan ketergantungan pada sumber air alternatif yang mungkin tidak selalu tersedia atau aman.

Dampak sosial lainnya adalah peningkatan beban ekonomi bagi masyarakat. Konsumen mungkin mengalami kenaikan tarif air untuk menutupi biaya operasional dan perbaikan infrastruktur yang disebabkan oleh kebocoran atau kehilangan air. Selain itu, ketidakstabilan pasokan air dapat memaksa masyarakat untuk mengeluarkan biaya tambahan untuk membeli air dari sumber alternatif, seperti air kemasan atau layanan pengangkutan air, yang sering kali lebih mahal. Beban ekonomi ini dapat mempengaruhi kelompok masyarakat berpenghasilan rendah secara lebih signifikan, memperburuk ketimpangan sosial dan ekonomi.

Kesehatan masyarakat juga dapat terpengaruh secara langsung oleh tingginya angka NRW. Pasokan air yang tidak konsisten

atau terkontaminasi akibat kebocoran dapat meningkatkan risiko penyebaran penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare, kolera, dan infeksi saluran pencernaan lainnya. Kondisi ini dapat memperburuk kesehatan masyarakat, khususnya di komunitas yang sudah rentan, dan meningkatkan beban pada sistem layanan kesehatan.

Selain itu, kepercayaan terhadap penyedia layanan air dapat menurun ketika angka NRW tinggi. Masyarakat mungkin merasa frustrasi dengan ketidakmampuan penyedia air dalam menyediakan layanan yang andal dan berkualitas. Penurunan kepercayaan ini dapat mengurangi partisipasi masyarakat dalam program konservasi air dan pemeliharaan sistem, serta meningkatkan ketidakpuasan sosial.

Ketidakadilan sosial juga bisa muncul sebagai dampak dari angka NRW yang tinggi. Komunitas yang terletak di area dengan infrastruktur yang kurang berkembang atau di daerah pinggiran mungkin menghadapi dampak lebih besar dari kekurangan air dan kualitas layanan yang buruk. Ketidakadilan ini dapat memperburuk ketimpangan sosial dan mengakibatkan ketegangan dalam masyarakat.

Pengaruh pada produktivitas ekonomi juga merupakan dampak sosial penting. Ketidakstabilan pasokan air dapat mempengaruhi aktivitas ekonomi, termasuk pertanian, industri, dan usaha kecil yang bergantung pada pasokan air yang stabil. Gangguan dalam pasokan air dapat mengakibatkan kerugian ekonomi, penurunan produktivitas, dan pengurangan pendapatan bagi para pelaku ekonomi.

Ketergantungan pada sumber air alternatif sering kali meningkat ketika angka NRW tinggi. Masyarakat mungkin perlu mengandalkan sumber air tambahan yang tidak selalu terjamin kualitasnya, seperti air dari sumur pribadi atau distribusi informal. Ketergantungan ini dapat meningkatkan risiko kesehatan dan mengurangi kualitas hidup.

Secara keseluruhan, tingginya angka NRW pada jaringan distribusi air minum dapat menyebabkan penurunan akses air minum, beban ekonomi tambahan, risiko kesehatan, penurunan kepercayaan terhadap penyedia layanan, ketidakadilan sosial, dampak pada produktivitas ekonomi, dan ketergantungan pada sumber air alternatif. Oleh karena itu, penting untuk mengatasi masalah NRW secara efektif untuk melindungi kesejahteraan masyarakat dan memastikan penyediaan air yang adil dan berkualitas (Balaei dkk., 2019).

STUDI KASUS : KOTA NAIROBI (KENYA)

Sebagai contoh kasus, di Nairobi, ibu kota Kenya, menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) yang tinggi. Angka NRW di Nairobi diperkirakan mencapai lebih dari 40%, yang mencerminkan masalah serius dalam sistem distribusi air kota ini. Masalah utama termasuk kebocoran pipa yang meluas, pencurian air, dan ketidakakuratan dalam pengukuran konsumsi. Infrastruktur yang tua, kurangnya pemeliharaan, dan kurangnya teknologi modern untuk deteksi kebocoran berkontribusi pada tingginya NRW di Nairobi. Krisis sosial di Nairobi akibat tingginya NRW sangat terasa di kalangan penduduk yang tinggal di daerah kumuh dan pinggiran kota. Di daerah-daerah ini, pasokan air minum sering kali tidak memadai, memaksa penduduk untuk bergantung pada sumber air alternatif yang sering kali tercemar, seperti sumur dangkal dan sungai. Hal ini mengakibatkan peningkatan signifikan dalam kasus penyakit yang ditularkan melalui air, seperti diare dan infeksi saluran pencernaan, yang sangat mempengaruhi kesehatan masyarakat. Ketidakpuasan masyarakat terhadap pemerintah dan penyedia layanan air meningkat drastis. Ketidakmampuan untuk menyediakan pasokan air yang konsisten memicu protes dan demonstrasi oleh penduduk yang merasa dirugikan. Kerusuhan dan ketegangan sosial ini sering kali mengarah

pada konflik antara komunitas yang memiliki akses air yang lebih baik dengan mereka yang kurang beruntung. Ketidakstabilan sosial ini menyoroti frustrasi masyarakat terhadap kegagalan pemerintah dalam mengelola masalah air dengan efektif.

Kasus yang terjadi di Nairobi, Kenya, menunjukkan bagaimana tingginya NRW dapat memicu krisis sosial yang berdampak luas pada masyarakat, ekonomi, dan kesehatan. Krisis ini memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan terkoordinasi, melibatkan perbaikan infrastruktur, penegakan hukum, edukasi masyarakat, dan kolaborasi antara berbagai sektor. Dengan langkah-langkah yang terintegrasi dan berkelanjutan, pemerintah Nairobi dapat mengatasi krisis sosial akibat NRW dan memastikan keberlanjutan sumber daya air serta kesejahteraan masyarakatnya.

7.2 Aspek Ekonomi

Kegagalan dalam pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) juga dapat mengakibatkan dampak ekonomi yang signifikan, memengaruhi berbagai aspek kehidupan masyarakat dan kegiatan ekonomi. Salah satu dampak utama adalah kerugian finansial langsung bagi perusahaan penyedia air dan pemerintah. Pemborosan air akibat kebocoran yang tidak terdeteksi atau penggunaan air yang tidak terdaftar mengakibatkan kehilangan pendapatan yang seharusnya diterima dari pelanggan. Ini mengurangi pendapatan operasional dan dapat mengganggu stabilitas keuangan perusahaan penyedia air. Selain itu, perawatan dan perbaikan infrastruktur yang rusak memerlukan biaya tambahan yang signifikan. Biaya tenaga kerja, material, dan teknologi pemantauan untuk memperbaiki kebocoran dan inefisiensi dapat membebani anggaran perusahaan dan pemerintah, mengalihkan dana dari investasi lain.

Kegagalan pengendalian NRW juga menyebabkan kenaikan biaya operasional, karena perusahaan harus mengerahkan lebih banyak sumber daya untuk memantau dan memperbaiki sistem serta menggunakan teknologi yang lebih canggih untuk mendeteksi masalah. Peningkatan biaya ini dapat mengurangi efisiensi perusahaan dan menurunkan profitabilitas. Sektor-sektor yang bergantung pada pasokan air yang stabil, seperti pertanian dan industri, juga merasakan dampaknya. Kekurangan air atau kualitas air yang buruk dapat mempengaruhi hasil pertanian, menyebabkan kerugian bagi petani dan industri pengolahan makanan, serta mengganggu proses produksi dalam sektor industri.

Selain itu, kekurangan air atau masalah terkait kualitas air dapat menurunkan nilai properti di area yang terdampak, mengurangi daya tarik bagi pembeli atau investor. Penurunan nilai properti ini dapat berdampak negatif pada ekonomi lokal. Beban sosial dan kesehatan juga meningkat, karena masyarakat yang terkena dampak kekurangan air minum mungkin menghadapi masalah kesehatan, seperti penyakit yang ditularkan melalui air. Biaya perawatan kesehatan ini menambah beban ekonomi pada sistem kesehatan publik dan individu.

Produktivitas ekonomi secara keseluruhan juga dapat berkurang ketika sektor-sektor yang bergantung pada air mengalami gangguan. Penurunan produktivitas ini berdampak pada pertumbuhan ekonomi regional dan nasional. Selain itu, perusahaan penyedia air yang gagal mengelola NRW dengan efektif mungkin mengalami penurunan reputasi, yang mempengaruhi kemampuan mereka untuk menarik investasi atau mendapatkan dukungan dari pemangku kepentingan. Reputasi yang buruk dalam hal pengelolaan air dapat menurunkan kepercayaan investor dan mengurangi peluang untuk pengembangan proyek di masa depan. Secara keseluruhan, dampak ekonomi dari kegagalan pengendalian

NRW mencakup kerugian finansial langsung, biaya tambahan, penurunan produktivitas, dan dampak sosial yang luas, menekankan pentingnya penerapan strategi pengelolaan yang efektif untuk memitigasi masalah ini (Dolan dkk., 2021).

STUDI KASUS : KOTA LAGOS (NIGERIA)

Sebagai contoh kasus, di Kota Lagos, salah satu kota terbesar di Nigeria dan Afrika, menghadapi tantangan besar terkait pengelolaan sistem distribusi air minum. Tingginya angka *Non-Revenue Water* (NRW) yang meliputi kebocoran, pencurian air, dan kesalahan pengukuran telah menciptakan krisis ekonomi yang signifikan. Dampak NRW ini tidak hanya mempengaruhi sektor air tetapi juga ekonomi kota secara keseluruhan. Di Lagos, Perusahaan Air Lagos (LWC) menghadapi kerugian finansial besar akibat tingginya NRW. Air yang hilang dari kebocoran dan pencurian mengurangi jumlah air yang dapat dijual, sementara biaya tambahan untuk memperbaiki kebocoran dan meningkatkan sistem deteksi juga menambah beban finansial. Sebagai hasilnya, LWC mengalami penurunan pendapatan yang signifikan dan kesulitan dalam memenuhi kebutuhan operasionalnya. Biaya tambahan untuk penggantian pipa dan teknologi deteksi kebocoran menyebabkan pengurangan anggaran untuk investasi dalam infrastruktur baru dan peningkatan layanan.

Kerugian pendapatan dari sektor air berimbas pada pendapatan pemerintah daerah. Di Lagos, sebagian besar pendapatan dari sektor air digunakan untuk mendukung proyek-proyek pembangunan dan layanan publik. Dengan rendahnya pendapatan dari penjualan air, pemerintah kota mengalami kesulitan dalam membiayai proyek-proyek infrastruktur penting, seperti pembangunan jalan, sekolah, dan rumah sakit. Penurunan pendapatan ini juga membatasi kemampuan

pemerintah untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat dan memperbaiki infrastruktur kota.

Tingginya NRW berdampak pada kualitas layanan air, mengakibatkan gangguan pasokan dan penurunan tekanan air. Bisnis dan industri yang bergantung pada pasokan air stabil, seperti restoran, hotel, dan pabrik, mengalami tantangan serius akibat seringnya gangguan pasokan air. Pengaruh ini menyebabkan peningkatan biaya operasional dan penurunan produktivitas. Bisnis kecil dan menengah, yang sangat bergantung pada air untuk operasional sehari-hari, terpaksa menghadapi tantangan finansial yang meningkat, yang pada gilirannya dapat mengurangi pendapatan dan peluang kerja. Dalam jangka panjang, dampak NRW yang tidak teratasi dapat menyebabkan krisis sosial dan ekonomi yang lebih luas. Kualitas layanan air yang buruk mengakibatkan ketidakpuasan masyarakat dan potensi konflik sosial. Ketidakstabilan dalam pasokan air dapat mengganggu kesehatan masyarakat dan menurunkan kualitas hidup. Kerugian finansial yang berkelanjutan bagi LWC dan pemerintah daerah dapat memperlambat pertumbuhan ekonomi dan membatasi perkembangan infrastruktur. Kurangnya investasi dalam pemeliharaan dan perbaikan dapat mengakibatkan kerusakan yang lebih parah dan biaya perbaikan yang lebih tinggi di masa depan.

Untuk mengatasi krisis ekonomi akibat NRW, Lagos meluncurkan berbagai inisiatif. Perusahaan Air Lagos fokus pada perbaikan infrastruktur dan penerapan teknologi canggih untuk mengidentifikasi dan memperbaiki kebocoran. Program upgrade teknologi, termasuk pemasangan meter cerdas dan sistem deteksi kebocoran, diimplementasikan untuk meningkatkan akurasi pengukuran dan efisiensi sistem distribusi. Edukasi masyarakat tentang penggunaan air yang efisien dan upaya pemberantasan pencurian air juga menjadi bagian dari strategi. Kemitraan dengan sektor swasta dan

organisasi internasional diharapkan dapat mempercepat perbaikan dan meningkatkan efisiensi sistem distribusi air.

Faktor sosial dan ekonomi seperti kesadaran masyarakat, infrastruktur yang buruk, ketidakmerataan akses air, dan penggunaan air tanah yang tidak terkontrol sangat mempengaruhi tingkat NRW. Untuk mengatasi masalah ini, penegakan regulasi yang kuat dan transparan sangat diperlukan, termasuk penerapan standar infrastruktur, audit berkala, dan pengawasan yang ketat. Selain itu, edukasi dan penyuluhan kepada masyarakat serta pemberdayaan mereka dalam pelaporan pencurian air, kebocoran dan pemborosan dapat berperan besar dalam mengurangi NRW.

7.3 Implementasi Praktik Hijau

Implementasi praktik hijau merupakan salah satu pendekatan berkelanjutan yang penting dalam pengendalian NRW. Praktik hijau melibatkan penggunaan metode dan teknologi yang ramah lingkungan untuk mengurangi dampak negatif dari sistem distribusi air. Ini termasuk penggunaan bahan baku dan teknologi yang lebih efisien serta ramah lingkungan dalam pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur (Caputo dkk., 2022).

Dalam hal ini, dapat berupa penggunaan sistem pemantauan cerdas yang memanfaatkan sensor dan teknologi *Internet of Things* (IoT) dapat membantu mendeteksi kebocoran secara *real-time* dan meminimalkan kerugian air dan pemilihan material pipa yang lebih tahan lama dan ramah lingkungan dapat mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian, serta dampak lingkungan dari limbah konstruksi. Implementasi praktik hijau dalam pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) berperan penting dalam menciptakan sistem distribusi air yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Pendekatan ini

fokus pada penggunaan metode, material, dan teknologi yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan sepanjang siklus hidup infrastruktur distribusi air, yang dapat meliputi :

a. Penggunaan Bahan Baku Ramah Lingkungan

Salah satu aspek utama dari praktik hijau adalah penggunaan bahan baku yang ramah lingkungan. Dalam pembangunan infrastruktur air, pemilihan material yang memiliki dampak lingkungan lebih rendah, seperti pipa berbahan dasar plastik daur ulang atau pipa komposit yang lebih tahan lama, dapat mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian. Material ini tidak hanya mengurangi limbah konstruksi, tetapi juga memiliki umur pakai yang lebih panjang, mengurangi kebutuhan untuk sumber daya baru dan energi yang digunakan dalam produksi dan transportasi material.

b. Teknologi Pemantauan Cerdas

Sistem pemantauan cerdas adalah contoh penerapan teknologi hijau yang dapat meningkatkan efisiensi pengendalian NRW. Teknologi ini memanfaatkan sensor dan perangkat berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk memantau kondisi jaringan distribusi air secara *real-time*. Sensor ini dapat mendeteksi perubahan tekanan, aliran, atau kelembapan yang menunjukkan adanya kebocoran atau kerusakan pada pipa. Dengan mendeteksi masalah lebih awal, teknologi pemantauan cerdas memungkinkan respon cepat dan pencegahan kebocoran sebelum menjadi masalah besar yang dapat menyebabkan kehilangan air yang signifikan.

c. Pengelolaan Energi dan Sumber Daya

Implementasi praktik hijau juga mencakup pengelolaan energi dan sumber daya dalam operasional sistem distribusi air. Mengintegrasikan sistem energi terbarukan, seperti panel surya untuk memenuhi kebutuhan energi pompa atau perangkat kontrol, dapat mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil

dan mengurangi emisi karbon. Selain itu, penggunaan teknologi efisiensi energi dalam pompa dan perangkat pengendali aliran dapat mengurangi konsumsi energi, mengurangi biaya operasional, dan meminimalkan dampak lingkungan dari penggunaan energi.

d. Pengurangan Dampak Lingkungan dari Limbah

Praktik hijau juga memperhatikan pengelolaan limbah yang dihasilkan selama pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur air. Menggunakan metode konstruksi yang mengurangi limbah, seperti daur ulang material pipa lama atau penggunaan bahan ramah lingkungan yang memiliki siklus hidup yang lebih lama, dapat mengurangi dampak lingkungan dari limbah konstruksi. Selain itu, proses pemeliharaan yang efisien dapat meminimalkan kebutuhan perbaikan besar yang berpotensi menghasilkan lebih banyak limbah.

e. Desain Berkelanjutan

Desain berkelanjutan untuk jaringan distribusi air juga merupakan bagian dari implementasi praktik hijau. Ini mencakup perencanaan sistem distribusi yang meminimalkan jarak aliran, mengoptimalkan penggunaan jaringan, dan mengurangi potensi kebocoran. Pendekatan ini dapat mengurangi kebutuhan untuk penggantian dan perbaikan pipa secara berulang, serta mengurangi dampak lingkungan dari pembangunan dan pemeliharaan infrastruktur.

f. Edukasi dan Pelatihan

Selain itu, praktik hijau mencakup aspek edukasi dan pelatihan bagi tenaga kerja yang terlibat dalam pengelolaan dan pemeliharaan sistem distribusi air. Melatih staf dalam teknik dan teknologi terbaru yang ramah lingkungan memastikan bahwa mereka dapat menerapkan praktik hijau dengan efektif dan terus meningkatkan efisiensi serta keberlanjutan sistem distribusi.

STUDI KASUS : KOTA KUALA LUMPUR (MALAYSIA)

Sebagai contoh, di Kota Kuala Lumpur, Malaysia, pengelolaan *Non-Revenue Water* (NRW) telah diterapkan dengan pendekatan hijau yang berfokus pada efisiensi dan keberlanjutan. Salah satu langkah kunci adalah penggunaan material ramah lingkungan untuk jaringan pipa. Pipa yang terbuat dari polietilen berbasis tinggi (HDPE) dan pipa komposit lebih tahan lama dan tahan terhadap korosi, yang mengurangi frekuensi perbaikan dan penggantian serta limbah konstruksi. Selain itu, Kuala Lumpur telah mengintegrasikan sistem pemantauan berbasis sensor yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mendeteksi kebocoran secara *real-time*. Teknologi ini memungkinkan deteksi dan perbaikan kebocoran yang lebih cepat dan akurat, mengurangi gangguan pada lingkungan sekitar serta jejak karbon dari pemeliharaan. Dalam upaya meningkatkan efisiensi energi, Kuala Lumpur menggunakan pompa dan peralatan hemat energi serta teknologi yang mengurangi konsumsi energi dalam proses pemompaan dan pengolahan air. Hal ini berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan terkait dengan konsumsi energi. Program konservasi air juga berperan penting, dengan kampanye edukasi yang meningkatkan kesadaran masyarakat tentang penghematan air dan pelaporan kebocoran. Upaya ini bertujuan untuk mengurangi pemborosan air dari sisi konsumen dan mendukung pengelolaan air yang lebih efisien. Selain itu, Kuala Lumpur menerapkan teknologi daur ulang air, dengan mengolah air limbah untuk digunakan kembali dalam keperluan non-potable seperti penyiraman taman dan proses industri. Ini mengurangi kebutuhan pengambilan air baru dari sumber daya alam dan mengurangi tekanan pada sistem distribusi air minum. Dalam perencanaan dan pengembangan

infrastruktur, kota ini juga menerapkan inisiatif hijau, termasuk pemilihan lokasi pembangunan yang mempertimbangkan dampak lingkungan dan penanaman vegetasi untuk mengurangi erosi tanah. Secara keseluruhan, pendekatan hijau yang diterapkan Kuala Lumpur dalam pengendalian NRW mencerminkan strategi holistik yang tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem distribusi air tetapi juga meminimalkan dampak lingkungan. Upaya ini mendukung keberlanjutan sumber daya air dan kesehatan lingkungan kota, menunjukkan komitmen Kuala Lumpur terhadap pengelolaan air yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

7.4 Penggunaan Teknologi Efisien

Penggunaan teknologi efisien adalah salah satu kunci dalam pengendalian NRW secara berkelanjutan. Teknologi ini mencakup sistem deteksi kebocoran yang canggih, teknologi pengukuran aliran air yang akurat, dan sistem manajemen data yang efektif (Ziemendoff, 2021).

Sebagai contoh, teknologi pemantauan tekanan dan aliran dapat membantu mendeteksi kebocoran lebih cepat dan lebih akurat. *Geographic Information System* (GIS) dapat digunakan untuk memetakan dan menganalisis jaringan distribusi, membantu dalam perencanaan pemeliharaan dan perbaikan. Teknologi berbasis *big data* dan analitik data juga dapat digunakan untuk memprediksi dan mencegah potensi kebocoran dengan menganalisis pola konsumsi dan tekanan dalam sistem.

- Sistem Deteksi Kebocoran

Teknologi deteksi kebocoran canggih adalah alat utama dalam mengidentifikasi dan mengatasi kebocoran dengan cepat. Salah satu contohnya adalah sistem pemantauan tekanan dan aliran berbasis sensor yang

dipasang di berbagai titik jaringan distribusi. Sensor ini secara *real-time* memantau perubahan tekanan dan aliran, memungkinkan deteksi kebocoran yang lebih cepat dibandingkan dengan metode tradisional. Teknologi ini dapat mengidentifikasi kebocoran kecil yang mungkin tidak terdeteksi oleh inspeksi visual atau metode manual, sehingga mengurangi kehilangan air dan biaya perbaikan yang lebih besar di kemudian hari.

- Teknologi Pengukuran Aliran Air Akurat

Pengukuran aliran air yang akurat sangat penting dalam pengendalian NRW. Teknologi pengukuran modern, seperti aliran elektromagnetik dan ultrasonik, menyediakan data aliran yang lebih presisi dibandingkan dengan meter aliran tradisional. Dengan data yang akurat mengenai volume air yang didistribusikan dan dikonsumsi, operator sistem dapat lebih baik mengidentifikasi anomali atau kehilangan yang tidak sesuai dengan pola konsumsi yang diharapkan. Teknologi ini juga memungkinkan penyesuaian dan optimasi operasional secara *real-time*, sehingga meningkatkan efisiensi sistem distribusi.

- Penerapan GIS (*Geographic Information System*)

Penerapan GIS memainkan peran penting dalam pemetaan dan analisis jaringan distribusi air. Dengan menggunakan GIS, operator dapat memetakan seluruh jaringan distribusi, termasuk pipa, katup, dan pompa. GIS memungkinkan analisis spasial untuk mengidentifikasi area yang rentan terhadap kebocoran atau kerusakan dan merencanakan pemeliharaan atau perbaikan secara lebih strategis. Teknologi ini juga mendukung perencanaan jangka panjang dengan membantu merancang perbaikan dan ekspansi jaringan secara efisien.

- Teknologi Berbasis Data Besar (*Big Data*) dan Analitik Data

Penggunaan teknologi big data dan analitik memberikan wawasan mendalam tentang pola konsumsi dan tekanan dalam sistem distribusi. Dengan mengumpulkan dan menganalisis data besar dari berbagai sensor dan meter air, teknologi ini dapat mengidentifikasi pola konsumsi yang tidak biasa, memprediksi potensi kebocoran, dan mengoptimalkan pengelolaan sumber daya. Analitik prediktif, misalnya, dapat menganalisis data historis dan tren untuk memprediksi lokasi dan waktu kebocoran yang mungkin terjadi, memungkinkan tindakan pencegahan sebelum masalah menjadi signifikan.

- Pemantauan dan Kontrol Jarak Jauh

Teknologi pemantauan dan kontrol jarak jauh juga berperan penting dalam pengendalian NRW. Sistem ini memungkinkan operator untuk memantau dan mengendalikan operasi sistem distribusi dari lokasi yang jauh, mengurangi kebutuhan untuk inspeksi fisik yang sering. Dengan kemampuan untuk mengakses data dan melakukan kontrol secara remote, respon terhadap masalah dapat dilakukan lebih cepat dan lebih efisien, mengurangi waktu henti dan kerugian air.

- Integrasi Teknologi dan Pelatihan Staf

Agar teknologi ini dapat diterapkan secara efektif, penting untuk melibatkan pelatihan staf dalam penggunaan dan pemeliharaan teknologi. Staf yang terlatih dalam teknologi terbaru akan dapat memanfaatkan potensi penuh dari sistem deteksi kebocoran, pengukuran aliran, dan analitik data, serta mengatasi masalah yang mungkin timbul dengan lebih cepat dan efisien.

STUDI KASUS : KOTA SINGAPURA

Sebagai contoh kasus, di Kota Singapura, *Public Utility Board (PUB)* telah secara efektif mengelola *Non-Revenue Water (NRW)* melalui penerapan teknologi efisien yang canggih. Dengan angka NRW yang telah turun menjadi sekitar 5%, Singapura berada di antara negara dengan angka NRW terendah di dunia. Untuk mencapai hal ini, Singapura memanfaatkan teknologi deteksi kebocoran yang canggih, seperti sensor akustik dan sistem pemantauan berbasis radio. Sensor akustik memungkinkan deteksi suara kebocoran yang sangat kecil, bahkan di lokasi yang sulit dijangkau, sementara sistem pemantauan berbasis radio menyediakan informasi *real-time* mengenai status jaringan distribusi air, memfasilitasi deteksi kebocoran secara cepat dan efisien. Selain itu, PUB mengadopsi meter cerdas untuk pengukuran konsumsi air yang lebih akurat dan *real-time*. Meter cerdas memantau aliran air dan tekanan secara terus-menerus, mengirimkan data langsung ke pusat pengendalian, dan memungkinkan identifikasi anomali dalam pola konsumsi yang dapat menunjukkan potensi kebocoran. Data yang diperoleh dari meter cerdas juga mendukung penagihan yang lebih adil dan transparan, mengurangi kehilangan pendapatan akibat kesalahan pengukuran. Untuk mengelola data yang diperoleh, Singapura menggunakan sistem manajemen data dan analitik yang terintegrasi, yang menggabungkan informasi dari sensor, meter cerdas, dan laporan pemeliharaan. Analitik data digunakan untuk memprediksi potensi kebocoran, merencanakan pemeliharaan preventif, dan mengoptimalkan operasi sistem distribusi air. Dengan pendekatan ini, PUB dapat membuat keputusan yang lebih responsif terhadap masalah yang muncul dan memastikan efisiensi sistem distribusi air. Program pemeliharaan dan perbaikan proaktif juga menjadi bagian dari strategi pengendalian NRW Singapura. Alih-alih menunggu kerusakan terjadi, PUB melakukan pemeliharaan preventif berdasarkan data yang diperoleh dari sistem pemantauan, mengurangi frekuensi dan dampak kebocoran besar serta

meminimalkan gangguan dalam layanan air. Pendekatan ini mencakup perbaikan dan penggantian pipa secara terencana untuk menjaga kondisi sistem distribusi air tetap optimal. Secara keseluruhan, penerapan teknologi efisien di Singapura telah memberikan hasil yang sangat positif, dengan penurunan signifikan dalam angka NRW. Teknologi deteksi kebocoran, meter cerdas, sistem manajemen data, dan pemeliharaan proaktif telah berkontribusi pada pengurangan kehilangan air, penghematan biaya operasional, dan peningkatan keberlanjutan sumber daya air. Pendekatan Singapura menawarkan model yang berharga bagi kota-kota lain di seluruh dunia dalam pengendalian NRW dan peningkatan efisiensi sistem distribusi air.

7.5 Peran Serta Masyarakat

Keterlibatan masyarakat dalam konservasi air adalah pendekatan penting dalam pengendalian NRW. Kesadaran dan partisipasi masyarakat dapat membantu mengurangi pemborosan air dan mendukung upaya pengelolaan air yang lebih efektif (Kusena dkk., 2016). Program edukasi dapat meliputi kampanye kesadaran tentang penggunaan air yang efisien, teknik penghematan air di rumah, dan peran individu dalam melaporkan kebocoran. Selain itu, melibatkan masyarakat dalam perencanaan dan pengawasan proyek pengelolaan air dapat meningkatkan dukungan dan kepatuhan terhadap kebijakan pengelolaan air, melalui cara-cara sebagai berikut :

1. **Kampanye Kesadaran dan Informasi**

Program edukasi biasanya dimulai dengan kampanye kesadaran yang bertujuan untuk mengedukasi masyarakat tentang penggunaan air yang efisien. Kampanye ini dapat meliputi berbagai media, seperti iklan di televisi, radio, dan media sosial, serta materi

cetak seperti poster dan pamflet. Informasi yang disampaikan mencakup teknik-teknik penghematan air yang sederhana namun efektif, seperti memperbaiki keran yang bocor, menggunakan peralatan hemat air seperti showerheads dan toilet efisien, serta mengurangi pemborosan air dalam aktivitas sehari-hari. Kampanye ini bertujuan untuk membangun pemahaman bahwa setiap individu memiliki peran dalam mengurangi pemborosan air dan bahwa tindakan kecil sehari-hari dapat memberikan dampak signifikan.

2. Kampanye Teknik Penghematan Air di Rumah

Edukasi yang lebih mendalam tentang teknik penghematan air di rumah dapat membantu masyarakat menerapkan praktik yang lebih efisien. Ini termasuk pelatihan tentang cara menggunakan peralatan rumah tangga yang hemat air, seperti mesin cuci dan dishwasher, serta cara-cara sederhana seperti menggunakan ember untuk mencuci mobil daripada selang. Program-program ini sering disertai dengan demonstrasi dan workshop yang memberikan panduan praktis kepada warga tentang bagaimana mereka dapat mengurangi konsumsi air dan biaya terkait.

3. Peran individu dalam Melaporkan Kebocoran

Masyarakat juga perlu diberi pemahaman tentang pentingnya melaporkan kebocoran dan masalah lain dalam sistem distribusi air. Program edukasi dapat mengajarkan individu bagaimana cara melaporkan kebocoran yang mereka temui dan memberikan informasi tentang saluran komunikasi yang tersedia, seperti nomor telepon atau aplikasi pelaporan. Dengan melibatkan masyarakat dalam proses pemantauan dan pelaporan, pengelola sistem distribusi dapat lebih cepat menangani masalah, mengurangi kehilangan air, dan mengurangi dampak dari kebocoran yang tidak terdeteksi.

4. Melibatkan Masyarakat dalam Perencanaan dan Pengawasan

Melibatkan masyarakat dalam perencanaan dan pengawasan proyek pengelolaan air dapat meningkatkan dukungan dan kepatuhan terhadap kebijakan pengelolaan air. Ini dapat dilakukan melalui forum komunitas, pertemuan publik, atau kelompok kerja yang melibatkan warga dalam pengambilan keputusan mengenai proyek pengelolaan air. Dengan memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk berkontribusi dalam proses perencanaan dan memberikan umpan balik tentang kebijakan atau program yang ada, mereka akan merasa lebih bertanggung jawab dan termotivasi untuk mendukung inisiatif konservasi air.

5. Kolaborasi dengan Sekolah dan Organisasi Komunitas

Kolaborasi dengan sekolah dan organisasi komunitas juga dapat memperkuat program edukasi. Mengintegrasikan kurikulum pendidikan lingkungan di sekolah dapat menanamkan kesadaran tentang konservasi air sejak usia dini. Organisasi komunitas, seperti kelompok lingkungan dan asosiasi perumahan, dapat berperan dalam menyebarkan informasi dan mendukung kegiatan konservasi air di tingkat lokal.

6. Kampanye Kesadaran tentang Pencegahan Pencurian Air

Kampanye kesadaran tentang pencegahan pencurian air bertujuan untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang dampak negatif dari pencurian air dan pentingnya melaporkan aktivitas ilegal. Kampanye ini bisa menggunakan media seperti iklan, poster, dan materi edukasi lainnya untuk menyampaikan pesan bahwa pencurian air merugikan semua pihak, termasuk komunitas lokal dan lingkungan. Informasi yang diberikan harus mencakup bagaimana pencurian air dapat mengganggu pasokan air minum, merusak

infrastruktur, dan meningkatkan biaya operasional yang akhirnya dibebankan kepada konsumen yang sah. Edukasi tentang teknik deteksi dan pencegahan pencurian air juga merupakan bagian penting dari program konservasi. Ini mencakup pengetahuan tentang tanda-tanda pencurian air, seperti tekanan air yang tidak stabil, aliran air yang tidak biasa, atau kerusakan pada meter air air. Mengajarkan masyarakat untuk mengenali tanda-tanda ini dan melaporkannya kepada pihak berwenang dapat membantu dalam upaya deteksi dan penanganan lebih cepat. Program edukasi dapat mencakup pelatihan tentang bagaimana melaporkan pencurian air dan pentingnya partisipasi masyarakat dalam menjaga integritas sistem distribusi air. Masyarakat dapat berperan aktif dalam pencegahan pencurian air dengan menjadi mata dan telinga bagi pihak berwenang. Program edukasi harus mendorong warga untuk melaporkan aktivitas mencurigakan, seperti pemasangan pipa atau meter air air yang tidak sah, atau kegiatan yang tampak tidak biasa di sekitar infrastruktur distribusi air. Penyuluhan juga bisa mencakup cara-cara aman untuk melaporkan kejadian tersebut tanpa membahayakan diri mereka sendiri.

STUDI KASUS : KOTA BUENOS AIRES (ARGENTINA)

Sebagai contoh kasus, di Kota Buenos Aires, Argentina, edukasi masyarakat mengenai konservasi air telah menjadi salah satu prioritas utama dalam upaya mengelola sumber daya air secara berkelanjutan. Salah satu program penting dalam hal ini adalah "*Agua es Vida*" (Air adalah Kehidupan), yang diluncurkan oleh pemerintah bersama dengan organisasi non-pemerintah. Program ini bertujuan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat mengenai pentingnya penghematan air melalui kampanye edukasi yang mencakup media sosial, iklan

televisi, dan materi cetak. Kampanye ini memberikan informasi praktis tentang cara-cara menghemat air di rumah, seperti memperbaiki kebocoran, menggunakan peralatan hemat air, dan mengadopsi kebiasaan yang lebih efisien dalam mandi dan mencuci. Selain kampanye media, "*Agua es Vida*" juga mengadakan pelatihan dan workshop di sekolah-sekolah dan komunitas lokal. Anak-anak dan remaja diajak berpartisipasi dalam kegiatan yang mengajarkan mereka tentang siklus air, pentingnya konservasi, dan dampak dari penggunaan air yang berlebihan. Di sekolah, materi kurikulum yang terkait dengan konservasi air diperkenalkan, dan proyek praktis seperti sistem pengumpulan air hujan dan taman ramah air diimplementasikan.

Program ini juga melibatkan kemitraan dengan organisasi lokal, termasuk lembaga swadaya masyarakat dan komunitas adat, untuk memastikan pesan konservasi air menjangkau berbagai kelompok masyarakat. Melalui pelatihan yang diselenggarakan oleh organisasi-organisasi ini, penduduk lokal diberikan pengetahuan tentang teknik pengelolaan air yang sesuai dengan kebutuhan mereka, serta dibantu dengan distribusi alat-alat hemat air seperti penghemat aliran dan alat pemantau konsumsi air. Teknologi digital juga berperan penting dalam program ini, dengan pengenalan aplikasi mobile yang memungkinkan masyarakat untuk melacak penggunaan air mereka dan menerima tips penghematan. Aplikasi ini membantu pengguna memantau konsumsi air, mendapatkan notifikasi tentang kebiasaan penggunaan air yang tidak efisien, dan mengakses sumber daya pendidikan tentang konservasi air. Sejak peluncuran program "*Agua es Vida*", Argentina telah mencatat peningkatan kesadaran dan perubahan perilaku di tingkat individu dan komunitas. Data menunjukkan bahwa pengurangan konsumsi air rumah tangga mencapai hingga 20% di beberapa daerah, menunjukkan keberhasilan program dalam mempromosikan penghematan air. Program ini juga

telah meningkatkan pemahaman mengenai dampak perubahan iklim terhadap sumber daya air, mendorong dukungan untuk kebijakan pengelolaan air yang lebih berkelanjutan. Dengan pendekatan yang melibatkan kampanye media, pelatihan, kemitraan lokal, dan teknologi digital, "*Agua es Vida*" memberikan contoh efektif bagaimana edukasi masyarakat dapat mengubah perilaku dan mendukung keberlanjutan sumber daya air secara luas.

7.6 Kemitraan dan Kolaborasi

Kemitraan dan kolaborasi antar sektor sangat penting dalam mengelola *Non-Revenue Water* (NRW) secara efektif dan berkelanjutan. Kolaborasi yang erat antara pemerintah, sektor swasta, dan organisasi non-pemerintah (NGO) dapat memperkuat upaya pengelolaan air dengan memanfaatkan keahlian, sumber daya, dan inovasi yang berbeda (Lima dkk., 2021).

Pemerintah daerah memainkan peran kunci dalam merancang dan menerapkan kebijakan yang mendukung pengendalian NRW, serta dalam memberikan regulasi dan alokasi anggaran untuk proyek-proyek terkait. Dengan bekerja sama dengan pemerintah daerah (Kota/Kabupaten) dapat memastikan bahwa kebijakan yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi setempat, sambil memfasilitasi pelaksanaan standar yang konsisten.

Sektor swasta berkontribusi dengan keahlian teknis dan inovasi yang diperlukan untuk mengatasi masalah NRW. Perusahaan-perusahaan dalam sektor teknologi, konstruksi, dan utilitas dapat terlibat dalam penelitian dan pengembangan teknologi terbaru, seperti sistem pemantauan cerdas dan material pipa yang lebih efisien. Investasi dari sektor swasta dalam infrastruktur dan teknologi baru dapat meningkatkan

efektivitas sistem distribusi air, mengurangi kebocoran, dan meminimalkan pemborosan air. Selain itu, sektor swasta dapat membantu dalam pengembangan dan penerapan solusi yang lebih efisien dan inovatif. Organisasi non-pemerintah (NGO) memainkan peran penting dalam pelatihan komunitas, advokasi, dan pendidikan terkait konservasi air. Dengan kolaborasi ini, NGO dapat meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya konservasi air dan pencegahan pencurian air. Mereka juga dapat memfasilitasi partisipasi komunitas dalam pengelolaan air, membantu dalam perencanaan dan pelaksanaan program-program pengelolaan yang berfokus pada kesejahteraan masyarakat. Selain itu, NGO dapat memberikan dukungan tambahan dalam mengidentifikasi dan mengatasi masalah sosial yang terkait dengan pengelolaan air.

Kemitraan antar sektor juga mendukung program pelatihan dan pengembangan kapasitas untuk tenaga kerja yang terlibat dalam pengelolaan air. Program-program pelatihan ini dapat mencakup teknologi terbaru, teknik pemeliharaan, dan manajemen sistem distribusi air. Dengan meningkatkan keterampilan dan kapasitas tenaga kerja, kolaborasi ini memastikan bahwa sistem distribusi air dapat dikelola secara lebih efisien. Selain itu, penelitian dan pengembangan teknologi yang didorong oleh kemitraan antara lembaga akademis, perusahaan teknologi, dan pemerintah lokal dapat menghasilkan solusi inovatif yang lebih efektif untuk mengurangi NRW.

Pendanaan dan investasi juga merupakan aspek penting dari kemitraan antar sektor. Pemerintah lokal dapat menyediakan dukungan finansial atau insentif, sementara sektor swasta dapat berinvestasi dalam proyek infrastruktur dan teknologi. NGO dapat membantu dalam mencari sumber dana tambahan atau hibah untuk mendukung program-program inovatif. Kombinasi sumber daya ini memastikan bahwa proyek

pengendalian NRW memiliki dukungan finansial yang memadai dan dapat dilaksanakan dengan sukses.

Koordinasi dan komunikasi yang efektif antara semua pihak yang terlibat dalam kemitraan sangat penting untuk keberhasilan upaya pengendalian NRW. Pertemuan rutin, forum diskusi, dan platform kolaborasi dapat menjaga hubungan baik antara pemerintah, sektor swasta, dan NGO. Dengan komunikasi yang jelas dan terbuka mengenai tujuan, peran, dan tanggung jawab masing-masing pihak, kemitraan ini dapat memastikan bahwa upaya pengendalian NRW terkoordinasi dengan baik dan mencapai hasil yang optimal.

Secara keseluruhan, kemitraan dan kolaborasi antar sektor memperkuat upaya pengendalian NRW dengan menyediakan berbagai sumber daya, keahlian, dan inovasi yang diperlukan. Melalui kerja sama yang erat, solusi yang lebih efektif dapat dikembangkan dan diterapkan, mendukung program pelatihan, penelitian, dan pengembangan teknologi yang meningkatkan efisiensi sistem distribusi air dan mengurangi NRW.

STUDIKASUS : KOTA CAPE TOWN (AFRIKA SELATAN)

Sebagai contoh kasus, di Kota Cape Town, Afrika Selatan, kemitraan dan kolaborasi antar sektor telah memainkan peran krusial dalam mengatasi tantangan *Non-Revenue Water* (NRW) yang tinggi. Pemerintah Kota Cape Town bekerja sama dengan sektor swasta untuk menerapkan teknologi canggih dalam mengelola air. Kemitraan ini melibatkan perusahaan penyedia teknologi dan kontraktor konstruksi, yang berkontribusi pada pemasangan meter cerdas dan sistem pemantauan berbasis sensor. Teknologi ini memungkinkan deteksi kebocoran secara *real-time* dan pengukuran konsumsi air yang lebih akurat, secara signifikan mengurangi NRW. Selain itu, kota ini berkolaborasi dengan berbagai organisasi non-pemerintah (NGO) seperti WaterAid dan The Nature

Conservancy. NGO berperan penting dalam menyelenggarakan kampanye edukasi dan pelatihan kepada masyarakat mengenai penggunaan air yang efisien dan pelaporan kebocoran. Mereka juga mendukung proyek konservasi sumber daya air dan meningkatkan akses air minum di komunitas yang kurang terlayani. Kolaborasi ini tidak hanya melibatkan penyediaan teknologi dan edukasi tetapi juga perencanaan dan implementasi strategi pengendalian NRW yang holistik. Forum koordinasi yang melibatkan berbagai pemangku kepentingan—pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat—dibentuk untuk merencanakan dan melaksanakan solusi pengelolaan air. Forum ini memungkinkan berbagi informasi dan sumber daya, serta memastikan bahwa solusi yang diterapkan sesuai dengan kebutuhan lokal. Evaluasi berkala dan pembelajaran bersama juga merupakan bagian integral dari kemitraan ini. Data dari sistem pemantauan dan umpan balik masyarakat digunakan untuk menilai efektivitas inisiatif dan melakukan penyesuaian yang diperlukan. Pendekatan ini memungkinkan strategi pengendalian NRW terus berkembang dan beradaptasi dengan tantangan yang muncul. Hasil dari kemitraan dan kolaborasi ini sangat positif. Cape Town mengalami penurunan signifikan dalam angka NRW, berkat penerapan teknologi yang efisien dan peningkatan kesadaran masyarakat tentang pentingnya konservasi air. Peningkatan kualitas layanan air dan keberlanjutan sumber daya air juga merupakan dampak dari strategi ini. Studi kasus Cape Town menunjukkan bahwa kemitraan dan kolaborasi antar sektor dapat menjadi solusi efektif untuk mengelola NRW, memberikan model yang berharga bagi kota-kota lain yang menghadapi tantangan serupa dalam pengelolaan sistem distribusi air.

Intisari Bab 7 :

1. **Dampak Sosial dari Tingginya NRW:** Tingginya angka NRW berdampak pada akses air minum yang terbatas, menurunnya kualitas hidup, peningkatan ketergantungan pada sumber air alternatif yang mungkin tidak aman, serta kenaikan biaya air bagi masyarakat. Dalam hal ini, kelompok masyarakat berpenghasilan rendah paling terpengaruh.
2. **Kerugian Finansial dari Tingginya NRW:** Kegagalan dalam pengelolaan NRW menyebabkan pemborosan air, mengurangi pendapatan dari pelanggan, serta membebani anggaran perusahaan penyedia air dan pemerintah dengan biaya perbaikan infrastruktur dan teknologi deteksi kebocoran. Hal ini dapat mengganggu stabilitas keuangan dan mengalihkan dana dari investasi lain.
3. **Praktek Hijau:** Implementasi Praktik hijau diterapkan untuk mengendalikan NRW, dengan melibatkan penggunaan metode dan teknologi ramah lingkungan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem distribusi air.
4. **Teknologi Efisien:** Penerapan teknologi efisien dapat menjadi kunci dalam pengendalian Non-Revenue Water (NRW). Teknologi ini mencakup berbagai alat dan sistem canggih yang membantu meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam sistem distribusi air.
5. **Peran serta masyarakat:** Berbagai program edukasi dapat dilaksanakan untuk mengedukasi masyarakat tentang penggunaan air yang efisien, teknik penghematan air, serta pentingnya melaporkan kebocoran, pencurian atau masalah lainnya dalam distribusi air.
6. **Kemitraan dan Kolaborasi :** Kolaborasi yang erat antara pemerintah, sektor swasta, dan organisasi non-pemerintah (NGO) dapat memperkuat upaya pengelolaan NRW dengan memanfaatkan keahlian, sumber daya, dan inovasi yang berbeda

Halaman ini sengaja dikosongkan

Daftar Pustaka

- Alegre, H. (2009) ‘Strategic Asset Management of Water Supply and Wastewater Infrastructures’, Water Intelligence Online, 8. Available at: <https://doi.org/10.2166/9781780401720>.
- Amir, A., Fauzi, R. and Arifin, Y. (2022) ‘Smart water meter for automatic meter reading’, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1212(1), p. 12042. doi: 10.1088/1757-899X/1212/1/012042.
- Anbari, M.J., Tabesh, M. and Roozbahani, A. (2017) ‘Risk assessment model to prioritize sewer pipes inspection in wastewater collection networks’, Journal of Environmental Management, 190, pp. 91–101. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.052>.

- Aydogdu, M. and Firat, M. (2015) 'Estimation of Failure Rate in Water Distribution Network Using Fuzzy Clustering and LS-SVM Methods', *Water Resource Management*, 29(5), pp. 1575–1590. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11269-014-0895-5>.
- Balaei, B. et al. (2019) 'Social factors affecting water supply resilience to disasters', *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 37, p. 101187. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101187>.
- Barandouzi, M.A. et al. (2012) 'Probabilistic Mapping of Water Leakage Characterizations Using a Bayesian Approach', *World Environmental and Water Resources Congress 2012 [Preprint]*. American Society of Civil Engineers.
- van den Berg, C. (2015) 'Drivers of non-revenue water: A cross-national analysis', *Utilities Policy*, 36, pp. 71–78. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.07.005>.
- Bezerra, S.T.M., Da Silva, S.A. and Gomes, H.P. (2012) 'Operational optimisation of water supply networks using a fuzzy system', *Water SA*, 38(4). Available at: <https://doi.org/10.4314/wsa.v38i4.12>.
- Caputo, A. et al. (2022) 'Water Conservation and Environmental Sustainability from a Community Clinical Psychological Perspective', *Sustainability*. doi: 10.3390/su14159146.
- Chasiotis, A. et al. (2023) 'Design of a Smart Early Warning Hydrometeorological System: The Easy Project in Ermionida', *Environmental Sciences Proceedings*. doi: 10.3390/environsciproc2023026185.
- Christodoulou, S. and Deligianni, A. (2010) 'Neurofuzzy decision framework for the management of water distribution networks', *Water Resources Management [Preprint]*. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9441-2>.

- Costa de Oliveira, J. et al. (2017) ‘Fuzzy control applied to water distribution systems with a view to reducing the waste of water and energy’, *Acta Universitaria*, 27(2), pp. 24–31. Available at: <https://doi.org/10.15174/au.2017.1023>.
- Dolan, F. et al. (2021) ‘Evaluating the economic impact of water scarcity in a changing world’, *Nature Communications*, 12(1), p. 1915. doi: 10.1038/s41467-021-22194-0.
- Elmasry, M., Hawari, A. and Zayed, T. (2017) ‘Defect based deterioration model for sewer pipelines using Bayesian belief networks’, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(9), pp. 675–690. Available at: <https://doi.org/10.1139/cjce-2016-0592>.
- Farley, M. et al. (2008) ‘The Manager’s Non-Revenue Water Handbook’, A Guide to Understanding Water Losses, Ranhill Utilities Bernhad and USAID, Malaysia.
- Farley, M. and Liemberger, R. (2005) ‘Developing a non-revenue water reduction strategy: Planning and implementing the strategy’, in *Water Science and Technology: Water Supply*. Available at: <https://doi.org/10.2166/ws.2005.0006>.
- Farley, M. and Trow, S. (2015) ‘Losses in Water Distribution Networks: A Practitioners’ Guide to Assessment, Monitoring and Control’, *Water Intelligence Online*, 4(0), pp. 9781780402642–9781780402642. Available at: <https://doi.org/10.2166/9781780402642>.
- Firat, M., Turan, M.E. and Yurdusev, M.A. (2009) ‘Comparative analysis of fuzzy inference systems for water consumption time series prediction’, *Journal of Hydrology*, 374(3–4), pp. 235–241. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.013>.
- Francis, R.A., Guikema, S.D. and Henneman, L. (2014) ‘Bayesian Belief Networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks’, *Reliability Engineering & System*

- Safety, 130, pp. 1–11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.res.2014.04.024>.
- Haider, H., Sadiq, R. and Tesfamariam, S. (2015) ‘Multilevel performance management framework for small to medium sized water utilities in Canada’, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(11), pp. 889–900. Available at: <https://doi.org/10.1139/cjce-2015-0227>.
- Hall, D.C. and Le, Q.B. (2017) ‘Use of Bayesian networks in predicting contamination of drinking water with E. coli in rural Vietnam’, *Transactions of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 111(6), pp. 270–277. Available at: <https://doi.org/10.1093/trstmh/trx043>.
- Islam, M.S. et al. (2011) ‘Leakage detection and location in water distribution systems using a fuzzy-based methodology’, *Urban Water Journal*, 8(6), pp. 351–365.
- Jang, D. (2018) ‘A Parameter Classification System for Nonrevenue Water Management in Water Distribution Networks’, *Advances in Civil Engineering*. Available at: <https://doi.org/10.1155/2018/3841979>.
- Jang, D. and Choi, G. (2017a) ‘Estimation of non-revenue water ratio for sustainable management using artificial neural network and Z-score in Incheon, Republic of Korea’, *Sustainability (Switzerland)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/su9111933>.
- Jang, D. and Choi, G. (2017b) ‘Estimation of non-revenue water ratio using MRA and ANN in water distribution networks’, *Water (Switzerland)* [Preprint]. Available at: <https://doi.org/10.3390/w10010002>.
- Jang, D., Park, H. and Choi, G. (2018) ‘Estimation of leakage ratio using principal component analysis and artificial neural network in water distribution systems’, *Sustainability (Switzerland)* [Preprint]. Available at:

<https://doi.org/10.3390/su10030750>.

- Kabir, G. et al. (2015) 'Evaluating risk of water mains failure using a Bayesian belief network model', *European Journal of Operational Research*, 240(1), pp. 220–234.
- Kabir, G., Tesfamariam, S. and Sadiq, R. (2015) 'Predicting water main failures using Bayesian model averaging and survival modelling approach', *Reliability Engineering & System Safety*, 142, pp. 498–514. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.res.2015.06.011>.
- Kamani, H. et al. (2012) 'Management of Non-Revenue Water in Distribution Network and Conveyor Lines; a Case Study', *Health Scope*, 1(3), pp. 147–152.
- Kanakoudis, V. et al. (2015) 'Defining the level of the Non-Revenue Water in Kozani, Greece: is it a typical case?', *Desalination and Water Treatment*.
- Kleiner, Y., Rajani, B. and Sadiq, R. (2006) 'Failure risk management of buried infrastructure using fuzzy-based techniques', *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, 55(2), pp. 81–94. Available at: <https://doi.org/10.2166/aqua.2006.075>.
- Kleiner, Y., Sadiq, R. and Rajani, B. (2004) 'Modeling Failure Risk in Buried Pipes Using Fuzzy Markov Deterioration Process', *Pipeline Engineering and Construction*. American Society of Civil Engineers. Available at: [https://doi.org/10.1061/40745\(146\)7](https://doi.org/10.1061/40745(146)7).
- Korb, K.B. and Nicholson, A.E. (2003) 'Bayesian Artificial Intelligence'. Chapman and Hall/CRC. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780203491294>.
- Kumar, V., Sunder, S. and Sharma, A. (2015) 'Leveraging Distribution to Maximize Firm Performance in Emerging Markets', *Journal of Retailing*. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2014.08.005>.

- Kusena, W. et al. (2016) ‘Assessing public participation in water conservation and water demand management in water stressed urban areas: Insights from the City of Gweru, Zimbabwe’, *Review of Social Sciences*, 1, p. 30. doi: 10.18533/rss.v1i8.51.
- Leu, S.-S. and Bui, Q.-N. (2016) ‘Leak Prediction Model for Water Distribution Networks Created Using a Bayesian Network Learning Approach’, *Water Resources Management*, 30(8), pp. 2719–2733. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-016-1316-8>.
- Liemberger, R. et al. (2016) ‘Zambia Water Supply and Sanitation Sector Diagnostic’, *International Journal of Water Resources Development*, 15(3), pp. 1–8.
- Liemberger, R. and Farley, M. (2004) ‘Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy Part 1 : Investigating and Assessing Water Losses’, *Proc IWA 4th World Water Congress and Exhibition 1924 September 2004 Marrakech Morocco [Preprint]*.
- Lima, S., Brochado, A. and Marques, R. C. (2021) ‘Public-private partnerships in the water sector: A review’, *Utilities Policy*, 69, p. 101182. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101182>.
- Loureiro, D. et al. (2015) ‘Water distribution systems flow monitoring and anomalous event detection: A practical approach’, *Urban Water Journal*, 13(3), pp. 242–252.
- Magiera, E. and Froelich, W. (2015) ‘Application of Bayesian Networks to the Forecasting of Daily Water Demand’, *Intelligent Decision Technologies*. Springer International Publishing, pp. 385–393. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-19857-6_34.
- Martínez-Codina, Á. et al. (2015) ‘Use of Pressure Management to Reduce the Probability of Pipe Breaks: A Bayesian Approach’, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 141(9). Available at: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-](https://doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-)

5452.0000519.

- Marzouk, M. and Ahmed, O. (2017) ‘Fuzzy-based methodology for integrated infrastructure asset management’, *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10(1), p. 745.
- Masheka, G. (2016). *An Optimisation of Non Revenue Water Management for Livingstone Town, Zambia*; University of Zimbabwe
- Moczulski, W. et al. (2016) ‘A methodology of leakage detection and location in water distribution networks — The case study’, 2016 3rd Conference on Control and Fault-Tolerant Systems (SysTol). IEEE.
- Motiee, H. and Ghasemnejad, S. (2019) ‘Prediction of pipe failure rate in Tehran water distribution networks by applying regression models’, *Water Supply*, 19(3), pp. 695–702.
- Mukherjee, M., Chindarkar, N. and Grönwall, J. (2014) ‘Non-revenue water and cost recovery in urban India: the case of Bangalore’, *Water Policy*, 17(3), pp. 484–501.
- Murrar, A. (2017) ‘The Determinants of Non-Revenue Water in Balkan Countries’, *American Journal of Water Science and Engineering*, 3(2), p. 18.
- Mutikanga, H.E, Sharma, S.K. and Vairavamoorthy, K. (2011a) ‘Investigating water meter performance in developing countries: A case study of Kampala, Uganda’, *Water SA*, 37(4). Available at: <https://doi.org/10.4314/wsa.v37i4.18>.
- Mutikanga, H.E, Sharma, S.K. and Vairavamoorthy, K. (2011b) ‘Multi-criteria Decision Analysis: A Strategic Planning Tool for Water Loss Management’, *Water Resources Management*, 25(14), pp. 3947–3969. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9896-9>.
- Nannapaneni, S., Mahadevan, S. and Rachuri, S. (2016) ‘Performance evaluation of a manufacturing process under uncertainty using

- Bayesian networks', *Journal of Cleaner Production*, 113, pp. 947–959. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.003>.
- Nugroho, W. and Iriawan, N. (2019) 'Effect of the leakage location pattern on the speed of recovery in water supply networks', in *Journal of Physics: Conference Series*. Available at: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/2/022023>.
- Nugroho, W., Iriawan, N. and Utomo, C. (2021) 'Determining physical and operational factors influencing pipeline leakage location pattern in water distribution networks using spatial poisson point process', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chemical Engineering*. {IOP} Publishing, p. 22051. Available at: <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/2/022051>.
- Nugroho, W., Utomo, C. and Iriawan, N. (2022) 'A Bayesian Pipe Failure Prediction for Optimizing Pipe Renewal Time in Water Distribution Networks', *Infrastructures*, 7(10). Available at: <https://doi.org/10.3390/infrastructures7100136>.
- Nugroho, W., Utomo, C. and Iriawan, N. (2023) 'A spatial data-driven decision analysis of pipe failure management in water supply system', *AIP Conference Proceedings*, 2646(1), p. 50029. doi: 10.1063/5.0139420.
- Owiti, C.K (2013). *Factors influencing Non Revenue Water in Garissa Township*; University of Nairobi
- Pradana, A.F., Yuniarto, A. (2023) 'Analisis Kehilangan Air dengan Metode Neraca Air dan Infrastructure Leakage Index (ILI) pada PDAM Surya Sembada Kota Surabaya', *Jukung : Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), pp. 103–112.
- Refsdal, A., Solhaug, B. and Stølen, K. (2015) 'Risk identification', in *SpringerBriefs in Computer Science*. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-319-23570-7_7.
- Rizzo, P. (2010) 'Water and Wastewater Pipe Nondestructive

- Evaluation and Health Monitoring: A Review’, *Advances in Civil Engineering*, 2010, pp. 1–13. Available at: <https://doi.org/10.1155/2010/818597>.
- Safeer, S. et al. (2022) ‘A review of artificial intelligence in water purification and wastewater treatment: Recent advancements’, *Journal of Water Process Engineering*, 49, p. 102974. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102974>.
- Schwartz, K., Tutusaus, M. and Savelli, E. (2017) ‘Water for the urban poor: Balancing financial and social objectives through service differentiation in the Kenyan water sector’, *Utilities Policy*, 48, pp. 22–31. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.08.001>.
- Shilehwa, C.M., Makhanu, S.K. and Khaemba, A.W. (2019) ‘Application of Artificial Neural Network Model In Forecasting Water Demand: Case of Kimilili Water Supply Scheme, Kenya’, *International Journal of Civil Engineering*, 6(9), pp. 6–11.
- Sihombing, N. H. et al. (2024) ‘The Cost Assessment in Water Infrastructure Within the Framework of Circular Economy: A Bibliometric Analysis BT - Advances in Civil Engineering Materials’, in Nia, E. M. and Awang, M. (eds). Singapore: Springer Nature Singapore, pp. 325–333.
- Srivastava, P. and Yaduvanshi, A. (2016) ‘Challenges in Geospatial Technology for Water Resources Development’, in, pp. 289–301.
- Tabesh, M. et al. (2009) ‘Assessing pipe failure rate and mechanical reliability of water distribution networks using data-driven modeling’, *Journal of Hydroinformatics*, 11(1), pp. 1–17. Available at: <https://doi.org/10.2166/hydro.2009.008>.
- Tang, C. et al. (2016) ‘Risk forecasting of pollution accidents based on an integrated Bayesian Network and water quality model for the South to North Water Transfer Project’, *Ecological*

- Engineering, 96, pp. 109–116.
- Thomsen, N.I. et al. (2016) ‘A Bayesian belief network approach for assessing uncertainty in conceptual site models at contaminated sites’, *Journal of Contaminant Hydrology*, 188, pp. 12–28.
- Wachla, D., Przystalka, P. and Moczulski, W. (2015) ‘A Method of Leakage Location in Water Distribution Networks using Artificial Neuro-Fuzzy System’, *IFAC-PapersOnLine*, 48(21), pp. 1216–1223.
- Wang, C. et al. (2010) ‘An assessment model of water pipe condition using Bayesian inference’, *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*, 11(7), pp. 495–504.
- Wang, Y. and Huo, D.Y. (2014) ‘Constant Pressure Water Supply System Based on Fuzzy Control Technology’, *Applied Mechanics and Materials*, 511–512, pp. 1110–1113.
- Wells, G. (1996) Hazard identification and risk assessment, Hazard identification and risk assessment. Available at: <https://doi.org/10.1201/9780429280740-13>.
- Yeboah, P.A (2008). Management of Non Revenue Water : A Case Study of Water Supply in Accra, Ghana; University of Loughborough
- Ziemendorff, S. (2021) Smart Water Management - Digital applications to reduce non-revenue water and increase the energy efficiency of water utilities in countries with emerging markets and developing economies.
- Zou, P.X.W., Zhang, G. and Wang, J. (1993) ‘Identifying Key Risks in Construction Projects: Life Cycle and Stakeholder Perspectives Related Past Research and Risk Classification’, *Architecture*.
- Zyoud, S.H. et al. (2016) ‘A framework for water loss management in developing countries under fuzzy environment: Integration

of Fuzzy AHP with Fuzzy TOPSIS', Expert Systems with Applications, 61, pp. 86–105.

Daftar Istilah

Aliran Malam Minimum (*Minimum Night Flow/MNF*) :

Aliran air pada situasi-situasi perkotaan biasanya terjadi selama jangka waktu dini hari, biasanya antara sekitar pukul 02:00 dan 04:00. Selama jangka waktu ini, konsumsi bersifat minimal dan oleh karenanya kehilangan fisik merupakan persentase maksimum dari total aliran.

ALI :

Singkatan dari *Apparent Loss Index*, merupakan indikator kinerja untuk kerugian komersial yang menggunakan nilai dasar 5 persen dari penjualan air sebagai acuan dan realisasi nilai kerugian komersial dihitung terhadap tolok ukur ini.

Analisis Komponen Kehilangan Fisik (*Physical Loss Component Analysis*):

Penentuan dan kuantifikasi komponen-komponen kehilangan fisik untuk menghitung tingkat kehilangan fisik yang diharapkan dalam sistem distribusi.

Analisis Sensitivitas :

Suatu pengujian dari suatu keputusan untuk mencari seberapa besar ketidaktepatan penggunaan suatu asumsi yang dapat ditoleransi tanpa mengakibatkan kegagalan keputusan tersebut.

ANN :

Singkatan dari *Artificial Neural Network*. Yakni algoritma yang memiliki mekanisme kerja meniru otak manusia yang

mampu memberikan stimulasi/rangsangan, melakukan proses, dan memberikan *output* untuk menemukan hubungan antara kumpulan data.

Bayesian Networks :

Model grafis probabilistik untuk mewakili pengetahuan tentang domain yang tidak pasti di mana setiap *node* sesuai dengan variabel acak dan setiap sisi mewakili probabilitas bersyarat untuk variabel acak yang sesuai.

Biaya aktivitas NRW :

Segala biaya yang dikeluarkan akibat adanya aktivitas pengelolaan NRW

Cause and Effect Diagram :

Alat visual yang digunakan untuk menganalisis secara logis kemungkinan penyebab masalah atau efek tertentu dengan menampilkannya secara grafis dalam detail yang semakin meningkat dan menunjukkan hubungan sebab akibat di antara teori-teori yang digunakan dalam penyelesaian masalah.

DMA :

Singkatan dari *District Metered Area*. Merupakan wilayah dalam jaringan distribusi air minum yang terisolasi baik permanen maupun non permanen dan dilengkapi dengan instrumen pembentuk distrik seperti meter air induk dan katup batas serta instrumen pengendalian DMA.

Deteriorasi :

Kondisi kemunduran, penurunan kualitas, atau bertambah buruk seiring dengan waktu.

Deterministik :

Representasi matematis dari sistem di mana terdapat hubungan tetap antar variabel (yaitu tidak memperhitungkan probabilitas), sehingga setiap masukan yang diberikan selalu menghasilkan hasil yang sama.

Faktor fisik :

Penyebab terjadinya sesuatu hal yang dipengaruhi oleh hal-hal yang bersifat fisik.

Faktor operasional :

Penyebab terjadinya sesuatu hal yang dipengaruhi oleh hal-hal yang bersifat operasional.

Faktor sosial ekonomi :

Penyebab terjadinya sesuatu hal yang dipengaruhi oleh hal-hal yang bersifat sosial ekonomi.

Faktor penentu :

Faktor yang tegas menentukan atau bersifat final dalam satu relasi sebab akibat dari timbulnya sesuatu hal.

Faktor penentu dominan :

Faktor yang paling berperan dalam menentukan sebab akibat dari timbulnya sesuatu hal.

Fuzzy Inference :

Proses perumusan pemetaan dari *input* yang diberikan ke *output* menggunakan logika *fuzzy*. Pemetaan kemudian memberikan dasar dari mana keputusan dapat dibuat, atau pola yang terlihat.

Identifikasi risiko :

Kegiatan mengidentifikasi secara sistematis semua sumber risiko dalam sebuah kegiatan dan penyebab risikonya.

Infrastructure Leakage Index (ILI) :

Indikator seberapa jauh jaringan distribusi dikelola (dirawat, diperbaiki, direhabilitasi) dengan baik untuk mengendalikan kehilangan air pada tekanan operasional saat ini.

Indikator kinerja (Performance Indicator/PI) :

Alat bantu atau tolok ukur untuk mengukur pencapaian kinerja sebuah aktivitas tertentu, berdasarkan beberapa indikator kualitas kerja, kuantitas, ketepatan waktu, dan efektifitas.

IWA :

Singkatan dari *The International Water Association (IWA)* yang merupakan organisasi internasional yang memiliki tujuan untuk mencapai solusi air yang adil dan berkelanjutan bagi dunia.

IUWASH :

Singkatan dari *Indonesia Urban Resilient Water, Sanitation, and Hygiene*. Merupakan proyek berdurasi lima tahun dari *USAID* untuk mempercepat pencapaian tujuan pembangunan Indonesia dalam meningkatkan akses air minum dan sanitasi aman, serta perilaku higienis di daerah perkotaan yang rentan dengan memperkuat layanan dan pengelolaan sumber daya air yang berketahanan terhadap perubahan iklim.

Jangka Waktu Kebocoran (Leak Duration) :

Jangka waktu berlangsungnya satu kebocoran terdiri dari tiga komponen waktu terpisah: waktu kesadaran, lokasi, dan perbaikan.

Jaringan distribusi :

Jaringan pipa yang berfungsi untuk mengalirkan air dari unit produksi (*reservoir*) ke pelanggan. Jaringan distribusi menggunakan pipa dengan aliran yang bertekanan, di mana di sepanjang jaringan dihubungkan dengan sambungan pelanggan.

Jaringan transmisi :

Jaringan transmisi adalah jaringan yang membawa air baku dari bangunan pengambilan air baku ke unit produksi, atau membawa air hasil olahan unit produksi ke *reservoir* penampungan hasil pengolahan air atau dari *reservoir* induk (penampung hasil olahan) ke *reservoir* pembagi sebelum distribusi.

Kegagalan pipa :

Kondisi pada pipa yang mengalami ketidakmampuan atau kehilangan kemampuan dalam menjalankan fungsinya.

Kehilangan Air :

Selisih antara *input* sistem dan konsumsi resmi. Kehilangan air bisa dianggap sebagai total volume untuk seluruh sistem, atau beberapa sistem secara parsial seperti skema-skema transmisi atau distribusi, atau zona masing-masing secara terpisah.

Konsumsi Resmi :

Volume air baik tertagih (*billed*) atau tak tertagih (*unbilled*) yang dikonsumsi oleh para pelanggan yang terdaftar untuk keperluan domestik, komersial dan industri.

Konsumsi Resmi Tertagih :

Komponen-komponen konsumsi resmi yang dapat ditagih dan menghasilkan pemasukan.

Konsumsi Resmi Tak Tertagih :

Komponen-komponen konsumsi resmi yang sah namun tidak dapat ditagih dan oleh karena itu tidak menghasilkan pemasukan, yang berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan fasilitas umum atau penanganan keadaan darurat.

Konsumsi Tidak Resmi :

Segala penggunaan air secara tidak resmi. Hal ini bisa mencakup penggunaan air secara ilegal atau di luar semestinya dari hidran air, sambungan ilegal, pemotongan pada meter konsumsi atau kerusakan meter.

Kehilangan Fisik :

Volume tahunan yang hilang melalui semua jenis kebocoran (*leak*), semburan (*burst*), dan limpahan (*spill over*) pada jaringan pipa, *reservoir* layanan dan sambungan layanan, sampai dengan ke titik pengukuran pelanggan.

Kerugian Komersial :

Mencakup semua jenis ketidakakuratan yang berkaitan dengan meter pelanggan serta kesalahan-kesalahan penanganan data (pembacaan meter dan penagihan), serta konsumsi yang tidak resmi (pencurian atau penggunaan ilegal).

Kebocoran pipa :

Kebocoran berupa rembesan dan retakan pada saluran pipa transmisi dan distribusi. Hal ini bisa berupa kebocoran-kebocoran kecil yang masih tidak dilaporkan (misalnya kebocoran pada sambungan) atau semburan-semburan besar yang dilaporkan dan diperbaiki selama jangka waktu tertentu.

Kebocoran pada Sambungan Pipa Pelanggan :

Air yang hilang karena kebocoran dan retakan pada sambungan pipa pelanggan dari titik *valve* (katup) hingga titik penggunaan oleh pelanggan.

Kebutuhan air :

Kebutuhan air merupakan jumlah air yang di perlukan oleh untuk memenuhi kebutuhan air minum yang terdiri dari kebutuhan domestik dan non domestik, serta kehilangan air. Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air minum untuk keperluan sehari-hari dalam rumah tangga. Kebutuhan non domestik adalah kebutuhan perkantoran pemerintah, industri, dan komersial, serta kebutuhan fasilitas umum.

Kebutuhan air domestik :

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air minum untuk keperluan sehari-hari dalam rumah tangga.

Kebutuhan air industri :

Kebutuhan air domestik adalah kebutuhan air minum untuk keperluan industri.

Kebutuhan air non-domestik :

Kebutuhan non domestik adalah kebutuhan perkantoran, industri, dan komersial, serta kebutuhan fasilitas umum.

Ketidakakuratan Meter :

Ketidakakuratan meter pelanggan dan kesalahan-kesalahan penanganan data dalam pembacaan meter dan sistem penagihan.

Komputasi :

Cara atau tindakan perhitungan dengan prosedur atau algoritma tertentu.

Kontaminasi :

Keberadaan suatu konstituen, ketidakmurnian, atau elemen lain yang dapat merusak, mengganggu, menginfeksi, atau membuat tidak layaknya suatu material atau elemen.

Level ekonomi NRW :

Titik terendah dari total biaya kehilangan air ditambah dengan biaya aktivitas NRW

Limpahan :

Air yang hilang karena struktur tanki penyimpanan mengalami kebocoran atau limpahan yang disebabkan oleh masalah-masalah operasional atau teknis.

Machine learning :

Penggunaan dan pengembangan sistem komputer yang mampu belajar dan beradaptasi tanpa mengikuti instruksi eksplisit, dengan menggunakan algoritma dan model statistik untuk menganalisis dan menarik kesimpulan dari pola dalam sebaran data.

Matriks target kehilangan fisik :

Skema yang menunjukkan tingkat *Infrastructure Leakage Index* yang diharapkan dan kehilangan fisik dalam satuan liter per sambungan per hari dari pengelolaan utilitas air.

MAAPL :

Singkatan dari *Minimum Achievable Annual Physical Losses* yakni volume kehilangan fisik tahunan yang paling rendah yang dapat tercapai secara teknis untuk satu sistem yang terpelihara dan dikelola dengan baik.

Meter air :

Alat untuk mengukur volume air yang digunakan oleh utilitas atau bangunan pengolahan, komersial dan permukiman yang berasal dari sistem penyediaan air publik. Meter air adalah alat ukur debit dengan ketelitian sesuai dengan standar tertentu. Di sebagian besar dunia aliran ukuran meter air dalam meter kubik atau liter tetapi di Amerika Serikat dan beberapa meter air

negara-negara lain yang dikalibrasi dalam kaki kubik atau galon pada daftar mekanik atau elektronik.

Meter air induk :

Meter air yang digunakan untuk mengukur volume air yang masuk ke dalam sistem distribusi air. Pada umumnya alat ini ditempatkan setelah pompa distribusi dan pada lokasi DMA.

Meter air pelanggan :

Meter air yang digunakan untuk mengukur volume air yang masuk ke dalam sistem sambungan rumah. Pada umumnya alat ini ditempatkan setelah pompa distribusi dan pada lokasi DMA.

Metode Jalur Kritis :

Prosedur penjadwalan yang menggunakan diagram jaringan kerja untuk menggambarkan sebuah urutan kegiatan/aktivitas yang diperlukan untuk mencapai tujuan.

MRA :

Singkatan dari *Multiple Regression Analysis*. MRA adalah teknik statistik untuk memperkirakan data yang tidak diketahui dari data yang diketahui atau tersedia.

Neraca air :

Merupakan kesetimbangan antara jumlah air yang disuplai dengan jumlah air yang didistribusikan dalam sistem penyediaan air.

NRW :

Singkatan dari *Non-Revenue Water*, memiliki definisi perbedaan antara volume air yang diproduksi dan dialirkan ke sistem penyediaan air dengan volume air konsumsi resmi yang tertagihkan.

Pelanggan terdaftar :

Seseorang atau individu baik dari organisasi, kelompok, atau instansi tertentu yang membeli produk/layanan tertentu, dan telah terdaftar ke dalam sistem layanan pelanggan.

Penilaian risiko :

Tindak lanjut dari identifikasi risiko yang memperkirakan risiko dengan mengidentifikasi kejadian yang tidak diinginkan, kemungkinan terjadinya dan dampak dari kejadian yang tidak diinginkan tersebut.

Pengelolaan aset :

Suatu program atau pengetahuan untuk mengelola aset agar tetap bisa menjalankan fungsinya dengan baik secara terus menerus sepanjang masih dibutuhkan, secara ekonomis, efisien, dan efektif dan keberlanjutan.

Pengendalian Kebocoran Aktif (*Active Leakage Control/ALC*) :

Merupakan kebijakan yang dilaksanakan oleh utilitas air untuk melakukan pencarian kebocoran-kebocoran yang tersembunyi secara proaktif. ALC dalam bentuknya yang paling mendasar terdiri dari *sounding* rutin (misalnya mendengarkan suara kebocoran pada hidran pemadam kebakaran, katup dan bagian-bagian yang bisa dijangkau dalam sambungan pipa pelanggan – misalnya *stop cock*) dengan menggunakan pipa/tongkat pendengar atau alat-alat elektronik.

Probabilistik :

Pendekatan statistik yang menggunakan efek kejadian atau tindakan acak untuk meramalkan kemungkinan hasil di masa mendatang. Pendekatan ini bersifat kuantitatif yang memproyeksikan beberapa hasil yang mungkin lebih rendah, menyamai bahkan melampaui apa yang telah terjadi di masa lalu.

Rasio kebutuhan energi :

Perbandingan antara energi yang tersedia dengan energi yang dibutuhkan.

Rasio deteriorasi :

Perbandingan antara kondisi saat ini dengan kondisi yang sempurna atau ideal.

Reservoir :

Suatu wadah dengan volume tertentu yang dipergunakan untuk tampungan air, dapat berupa *watertank*, *ground reservoir* atau *elevated reservoir*.

Sambungan layanan :

Instalasi sambungan dari *tapping* pipa distribusi menuju meter air pelanggan

Sambungan terdaftar :

Sambungan layanan yang telah terdaftar ke dalam sistem layanan pelanggan

Sambungan ilegal :

Sambungan layanan yang tidak terdaftar ke dalam sistem layanan pelanggan

SECO :

Singkatan dari *State Secretariat for Economic Affairs* (SECO), sebuah lembaga pemerintah federal Swiss untuk penanganan masalah yang berkaitan dengan kebijakan yang berkontribusi pada pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, lapangan kerja yang tinggi dan kondisi kerja yang adil, dengan menciptakan kerangka peraturan, ekonomi dan kebijakan luar negeri yang diperlukan.

Semburan (*Burst*) :

Peristiwa-peristiwa kebocoran dengan debit yang lebih besar dari *background losses* dan oleh karenanya bisa terdeteksi oleh teknik-teknik deteksi kebocoran standar.

Simulasi Monte Carlo :

Teknik matematika yang memprediksi kemungkinan hasil dari peristiwa yang tidak pasti. Penggunaan metode ini dilakukan untuk menganalisis data masa lalu dan memprediksi berbagai hasil masa depan berdasarkan pilihan tindakan.

***Test rig meter* :**

Test rig meter adalah sistem lengkap yang mengontrol, mengukur, dan mengevaluasi perangkat sesuai dengan parameter pengujian yang ditentukan. Sistem ini mencakup perangkat keras dan perangkat lunak, sensor, instrumen, dan aktuator yang terintegrasi menggunakan perangkat keras atau protokol akuisisi data.

USAID :

Singkatan dari *United States Agency for International Development (USAID)* yang bertanggung jawab atas bantuan untuk bidang ekonomi, pembangunan, dan kemanusiaan untuk negara-negara lain di dunia dalam mendukung tujuan-tujuan kebijakan luar negeri Amerika Serikat.

Utilitas air :

Suatu unit milik pemerintah, korporasi, asosiasi, kemitraan, atau swasta yang terlibat dalam penyediaan air untuk umum untuk keperluan domestik dan non-domestik.

Volume *Input* Sistem :

Volume air yang sudah diolah yang dialirkan ke sistem penyediaan air yang terkait dengan penghitungan neraca air

Waktu Kesadaran (*Awareness Time*) :

Waktu Kesadaran merupakan waktu rata-rata dari terjadinya satu kebocoran hingga saat perusahaan air minum menyadari adanya kebocoran tersebut. Waktu kesadaran ini dipengaruhi oleh jenis kebijakan ALC yang diterapkan.

Waktu Lokasi (*Location Time*) :

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan investigasi terhadap laporan kebocoran atau retakan dan untuk menetapkan lokasi posisi yang benar sehingga perbaikan bisa dilakukan.

Waktu Perbaikan (*Repair Time*) :

Waktu yang dibutuhkan perusahaan air minum untuk mempersiapkan dan melakukan perbaikan begitu kebocoran ditemukan lokasinya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Indeks

3

3D · 70, 71, 72

A

Agua es Vida · 95

ALI · 110

aliran malam hari minimal
(*minimum night flow*) · 8

American Water Works

Association (AWWA) · 49

Analisis · 7, 8, 30, 33, 42, 63,
72

Analisis Sensitivitas · 110

ANN · 110

Apparent Loss Index (ALI) ·
54

applicable · 44

Artificial Neural Network
(ANN) · 19

*Awareness, Location, and
Repair (ALR)* · 31

B

Bayesian Belief Network
(BBN) · 42
Bayesian Networks · 110
Bayesian Networks (BN) · 42
Biaya aktivitas NRW · 111
Big Data · 90

C

Cause and Effect Diagram ·
111
Current Annual Volume of
Physical Losses (CAPL) ·
50

D

Deteriorasi · 111
Deterministik · 111
District Metered Area
(DMA) · 8
DMA · 111, 117

F

Faktor fisik · 111
Faktor operasional · 111
Faktor penentu · 112
Faktor penentu dominan ·
112
Faktor sosial ekonomi · 112
Fuzzy Inference · 42, 112
Fuzzy Inference Systems
(FIS) · 43

G

Geographic Information
System (GIS) · 58, 61, 70,
71
Grafik · 29

I

ILI · 112
Indikator kinerja · 112
Infrastructure Leakage Index
(ILI) · 49, 50
Infrastruktur · 1
Integrasi · 58, 61, 63, 72, 74,
77, 90
International Water
Association (IWA) · 1
Internet of Things (IoT) · 57,
73, 85, 86, 87
IUWASH · 113
IWA · 112

J

Jaringan distribusi · 113
Jaringan transmisi · 113

K

Kebocoran pipa · 114
Kebutuhan air · 115
Kegagalan pipa · 113
Kehilangan Air · 113
Kehilangan fisik · 5, 26, 45,
51, 53
Kehilangan Fisik · 110, 114

Kerugian komersial · 5
 Kerugian Komersial · 114
 Komponen · 4, 6, 20, 29, 50
 Komputasi · 115
 Konsumsi Resmi · 114
 Konsumsi Resmi Tak
 Tertagih · 114
 Konsumsi Resmi Tertagih ·
 114
 Konsumsi Tidak Resmi · 114
 Kontaminasi · 116

L

Level ekonomi NRW · 116
likelihood · 40
 Limpahan · 116

M

machine learning · 64
Machine learning · 116
 MAPL · 116
 Matriks target kehilangan
 fisik · 116
 Meter air · 116, 117
 Meter air induk · 117
 Meter air pelanggan · 117
 Metode Jalur Kritis · 117
*Minimum Achievable Annual
 Physical Losses* (MAPL) ·
 50
 Minimum Night Flow · 110
 MRA · 117
 Multivariate Regression
 Analysis (MRA) · 19

N

Neraca air · 117
 NGO · 97, 98, 99
Non-Revenue Water · 117
 NRW · iii, v, vi, vii, viii, 1, 2,
 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13,
 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,
 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28,
 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35,
 36, 37, 39, 42, 43, 45, 46,
 47, 48, 49, 50, 51, 53, 57,
 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64,
 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85,
 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,
 97, 98, 99, 111, 116, 117

O

Operasional · ii, 22

P

Parameter · 17, 20
 Pelanggan terdaftar · 117
 Pengelolaan aset · 118
 Penilaian risiko · 118
Performance Indicator (PI) ·
 47
 Praktik hijau · 85
Public Utility Board (PUB) ·
 91

R

Rasio · 2, 18, 20, 22, 26, 40

Rasio deteriorasi · 118
Rasio kebutuhan energi · 118
Reservoir · 113, 119
risk assesment · 42

S

Sambungan ilegal · 119
Sambungan layanan · 119
Sambungan terdaftar · 119
SECO · 119
Semburan · 119
Sensor akustik · 60
Sensor Akustik · 65
Sensor Akustik Korosi · 67
Sensor Aliran · 66
Sensor Elektroakustik · 67
Sensor Fiber Optik · 65
Sensor Gas Hidrogen · 66
Sensor Kimia · 68
Sensor Optik · 67
Sensor Radar · 68
Sensor Suhu · 67
Sensor Tekanan · 66
Sensor Ultrasonik · 65
Simulasi · 72
Simulasi Monte Carlo · 119

T

Teori fuzzy · 45
Test rig meter · 120
Tree Diagram Cause and Effect Diagram · 42

U

urbanisasi · 22
USAID · 113, 120
utilitas · 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 27, 29, 31, 33, 39, 42, 47, 48, 49, 50, 52, 53, 97
Utilitas air · 1, 2, 3, 6, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 21, 22, 23, 27, 29, 39, 42, 47, 49, 50, 120

V

Visualisasi · 72
Volume · 1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 23, 26, 27, 29, 30, 48, 51, 66, 68, 76, 89
Volume Input Sistem · 120

W

Waktu Kesadaran · 120
Waktu Lokasi · 120
Waktu Perbaikan · 120
Water Loss Control Committee (WLCC) · 49
Water losses · 1

Z

zona · 19, 20, 32

Profil Penulis



Dr. Rita Ambarwati, SE, MMT merupakan dosen tetap Ilmu Manajemen, Fakultas Bisnis Hukum dan Ilmu Sosial, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (Umsida) dan mengampu beberapa mata kuliah pada program studi S-1 dan S-2, di antaranya adalah manajemen operasional dan riset operasi. Lahir di Surabaya, 7 April 1980, ia mengawali kariernya sebagai praktisi perbankan pada tahun 2000 – 2012 dan kemudian berkarir menjadi instruktur dan pengajar sejak 2014. Penulis mendalami ilmu manajemen pada Program Doktor Ilmu Manajemen, Universitas Brawijaya (UB) setelah sebelumnya mempelajari bidang manajemen industri pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Sejak 2017 telah terlibat dalam berbagai program penelitian dan pengabdian kepada masyarakat baik yang didanai oleh Kemendikbud, BRIN maupun dana mandiri tentang tema manajemen operasional dalam berbagai bidang industri mulai dari industri perbankan, tenaga listrik, air minum, ritel dan kesehatan.



Dr. Widyo Nugroho, ST, MMT merupakan *co-founder* dan *Chief Technical Officer* (CTO) pada PT. Adyatama, sebuah perusahaan dengan spesialisasi pada bidang instrumentasi, jaringan distribusi, dan sistem penyediaan air. Lahir di Kota Yogyakarta, pada tanggal 22 Nopember 1976, setelah merintis karir sebagai konsultan di bidang pengembangan sumberdaya air, pengendalian banjir dan perencanaan bendungan di tahun 2001, ia kemudian memulai usaha sejak 2005 hingga saat ini di bidang infrastruktur khususnya sistem penyediaan air (*water supply*). Mendapatkan dasar-dasar keteknikan di bidang rekayasa sumberdaya air dari Fakultas Teknik Universitas Brawijaya (UB), penulis kemudian menuntaskan pendidikan



doktoral di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada bidang Ilmu Teknik Sipil pada Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan fokus riset pada pengelolaan aset infrastruktur pada jaringan distribusi air bersih. Penulis kini juga aktif menjadi instruktur pada beberapa lembaga diklat

profesi.

Wiwik Sulistiyowati, ST, MT merupakan dosen tetap pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (Umsida). Lahir di Magetan pada tanggal 16 Agustus 1982, penulis menempuh pendidikan magister pada Program Studi Teknik Industri dengan Keahlian bidang Rekayasa Kualitas, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Saat ini penulis merupakan kandidat doktor pada Program Doktor Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Sebelum menjalani profesi sebagai pengajar, penulis mengawali karir di Departemen *Quality Assurance*, PT. Kemet-Yageo Group, Batam, yang merupakan perusahaan bidang industri komponen kelistrikan pada tahun 2008 - 2009. Kini, selain aktif dalam penulisan buku di bidang rekayasa, manajemen, dan statistika industri, penulis kini juga terlibat pada berbagai penelitian yang didanai oleh Kemendikbud, BRIN dan dana internal Umsida, melalui skema Hibah Bersaing, PEKERTI, Penelitian Produk Terapan, Penelitian Strategi Nasional Indonesia dan Fundamental.



Dipl. Ing. Kusno, SH, MM merupakan praktisi konsultan *engineering* dan manajemen proyek. Mengawali karir di beberapa *world wide company* bidang industri semen dan pertambangan sejak tahun 1993, penulis kemudian memulai bisnis pada PT. Kusuma Jaya Internusa sebagai *President Director* sejak tahun 2010 dan beralih bisnis pada bidang konsultan sejak tahun 2018. Lahir di Bandung, pada tanggal 6 Desember 1972. Memperoleh Diploma Teknik Mesin dari *FLS Germany*, penulis kemudian merambah pendidikan S-1 di bidang Hukum di Universitas Bhayangkara (Ubhara) dan S-2 Magister Manajemen di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo (Umsida). Penulis saat ini juga aktif berkarya sebagai penulis buku, pembicara dan dosen tamu di beberapa perguruan tinggi, khususnya pada bidang *technopreneurship*.



UMSIDA PRESS
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
Jl. Mojopahit No. 666B
Sidoarjo, Jawa Timur

ISBN 978-623-466-320-2 (PDF)



9

786234

641202