



Strategi Penurunan Tingkat Kehilangan Air di Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang

Ardian Wiedilaksono^{1,2*}, Limbang Kustiawan Nuswantara¹, Silviana Silviana¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Bidang Pengembangan Program, Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang

^{*}Corresponding author: ardian@pdamkotasmg.co.id

(Received: January 24, 2025; Accepted: April 15, 2025)

Abstract

Strategy to Reduce Water Loss Levels at Tirta Moedal Drinking Water Company in Semarang City. Non-Revenue Water or Water Loss Level (TKA) in Drinking Water Business Entities (PDAM) is a concern for many people. This article explains the approach to the water loss reduction process starting from the assessment, formulation and implementation of strategies at PDAM Semarang City. The process begins with conducting a TKA assessment through the preparation of a water balance and component analysis at the company level. The results of this assessment are then translated into a strategy at the company level. With the resources that have been allocated, PDAM through the Water Loss Reduction section conducts a TKA assessment at the zone or Drinking Water Supply System (SPAM) level and at the District Metered Area (DMA) to formulate a strategy at the tactical level. The steps taken by the Water Loss Reduction section are to conduct a focused TKA reduction in one SPAM by utilizing a leak search team and Internet of Things (IoT) data logger. The strategy implementation is carried out using the DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) conceptual model approach to all DMAs in the SPAM until the target is achieved. This process has proven successful in reducing TKA in one SPAM from 39% to 26%. It is hoped that this article can be an example of the assessment, formulation, and implementation of strategies to reduce the level of water loss for PDAM.

Keywords: *Water Loss Rate, assessment, water balance, component analysis, strategy formulation, strategy implementation, DMAIC*

Abstrak

Air Tak Berekening atau Tingkat Kehilangan Air (TKA) pada Badan Usaha Air Minum (PDAM) menjadi perhatian bagi banyak kalangan. Artikel ini menjelaskan pendekatan proses penurunan kehilangan air dimulai dari penilaian, perumusan dan implementasi strategi pada PDAM Kota Semarang. Proses dimulai dengan melakukan penilaian TKA melalui penyusunan neraca air dan analisis komponen di tingkat perusahaan. Hasil penilaian ini kemudian diterjemahkan menjadi strategi di tingkat perusahaan. Dengan sumber daya yang telah dialokasikan, PDAM melalui bagian Penurunan Kehilangan Air melakukan penilaian TKA di tingkat zona atau Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) dan di *District Metered Area* (DMA) untuk merumuskan strategi di tingkat taktis. Langkah yang dilakukan bagian Penurunan Kehilangan Air adalah dengan melakukan penurunan TKA secara fokus di satu SPAM dengan memanfaatkan tim pencarian kebocoran dan *Internet of Things* (IoT) data logger. Implementasi strategi dilaksanakan dengan pendekatan model konseptual DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) pada semua DMA di SPAM tersebut sampai tercapainya target. Proses ini terbukti berhasil menurunkan TKA di salah satu SPAM dari 39% menjadi 26%. Harapannya, artikel ini dapat menjadi contoh penilaian, perumusan, dan implementasi strategi penurunan tingkat kehilangan air bagi PDAM.

Kata kunci: *Tingkat Kehilangan Air, penilaian, neraca air, analisis komponen, perumusan strategi, implementasi strategi, DMAIC*

How to Cite This Article: Wiedilaksono, A., Nuswantara, L. K., & Silviana, S. (2025). Strategi Penurunan Tingkat Kehilangan Air di Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang. *JPII*, 3(2), 111-120. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2025.25821>

PENDAHULUAN

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (PDAM) merupakan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang bergerak dalam melaksanakan pelayanan penyediaan air minum dengan prinsip 4K (Kualitas, Kuantitas dan Keterjangkauan) kepada masyarakat sesuai dengan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 122 tahun 2015 Tentang Sistem Penyediaan Air Minum. Sebagai badan usaha yang bergerak di bidang pemenuhan hak dasar masyarakat, PDAM harus dapat meningkatkan kinerjanya agar menjadi BUMD yang mandiri secara finansial serta secara berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan air di masyarakat. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Nomor 18 Tahun 2007 Tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, aspek kinerja BUMD Air Minum (AM) dibagi menjadi 4: Finansial, Pelayanan, Operasional dan Sumber Daya Manusia. Apabila BUMD AM berkinerja baik pada 4 aspek tersebut, maka BUMD tersebut dinilai sebagai badan usaha yang sehat.

Salah satu indikator yang menjadi perhatian pemerintah pusat maupun pemerintah daerah adalah Air Tak Berekoning (ATR) atau yang lebih umum dikenal sebagai Tingkat Kehilangan Air (TKA). Menurut data yang dihimpun Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam buku Kinerja BUMD Air Minum tahun 2023, ATR atau TKA nasional sebesar 33,9% atau sebesar 1,74 miliar m³. Bila dikonversi dalam bentuk mata uang rupiah, maka pendapatan yang hilang sebesar 9,75 triliun rupiah per tahun.

ATR atau TKA dalam bahasa Inggris disebut dengan *Non Revenue Water* (NRW), merupakan selisih dari Volume Distribusi (*System Input*) terhadap Rekening Air Minum (*Billed Authorized Consumption*) (Farley et al., 2008). Dalam menentukan nilai TKA, perlu dilakukan penilaian/*assessment* untuk memahami komponen kehilangan air. Salah satu caranya adalah dengan membuat neraca air. Identifikasi komponen kehilangan air merupakan tahap yang penting bagi operator/perusahaan air minum agar strategi yang dikembangkan dapat tepat sasaran. Komponen kehilangan air bisa berupa ketidakakurasian meter dan pencurian air (kehilangan nonfisik), ataupun berupa kebocoran pipa dan luapan reservoir (kehilangan fisik) (Farley et al., 2008).

Terdapat beberapa *tools* penilaian kehilangan air yang telah dikembangkan baik oleh praktisi maupun peneliti secara berbayar maupun tidak berbayar (AL-Washali et al., 2020). Namun, neraca air standar

International Water Association (IWA) yang dikembangkan oleh Liemberger & Farley (2004) adalah bentuk neraca air yang paling umum digunakan di Indonesia maupun di dunia. Neraca air ini kemudian dibuat dalam *software* EasyCalc. Penilaian TKA menggunakan neraca air ini juga disebut sebagai *Top-Down Assessment* karena data yang digunakan merupakan data sekunder perusahaan. Bentuk neraca air standar IWA ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

System Input Volume	Authorized Consumption	Billed Authorized Consumption	Billed Metered Consumption	Revenue Water	
			Billed Unmetered Consumption		
	Water Losses	Unbilled Authorized Consumption	Unbilled Metered Consumption	Non-Revenue Water	
			Unbilled Unmetered Consumption		
	Real Losses	Apparent Losses			Unauthorized Consumption
					Metering Inaccuracies and Data Handling Errors
			Leakage on Transmission and/or Distribution Mains		
			Leakage and Overflows at Utility's Storage Tanks		
		Leakage on Service Connections up to Point of Customer Metering			

Gambar 1. Neraca Air Standard IWA
Sumber: Liemberger & Farley (2004)

Tersusunnya neraca air akan mempermudah perumusan strategi di tingkat strategis, fungsional, ataupun operasional. Sebelum merumuskan strategi baik di tingkat strategis, fungsional ataupun operasional, perlu dilakukan *setting target*. Idealnya, penentuan target dilakukan dengan menghitung ELL (*Economic Leakage Level*). Akan tetapi, karena perhitungan ELL cukup sulit dan penelitian yang masih cukup terbatas, maka perusahaan air minum dapat menghitung *Infrastructure Leakage Index* (ILI) dan kebocoran per sambungan per hari sebagai indikator kinerja kehilangan air (Seago et al., 2005). Di Indonesia, perhitungan ELL ini pernah dilakukan oleh Heryanto et al. (2021) untuk mengetahui tingkat ekonomis kehilangan air atau tingkat di mana intervensi kehilangan air dapat memberikan manfaat finansial yang disebut dengan *Economic Water Losses Level* (ELWL) di PDAM Kota Malang. Disebutkan bahwa perhitungan ELWL atau ELL membutuhkan lebih banyak data, sehingga indikator kinerja kehilangan air yang dikembangkan Seago et al. (2005) sudah cukup bagi perusahaan yang belum mampu untuk melakukan perhitungan ELL/ELWL. Selain dijadikan pertimbangan untuk menentukan target realistis kinerja kehilangan air ini dapat digunakan sebagai *benchmark* untuk

membandingkan kondisi kehilangan air perusahaan air satu dengan yang lainnya (Leakssuite Library Ltd, 2019).

Setelah penilaian kehilangan air selesai, selanjutnya perusahaan air dapat mulai untuk melakukan perumusan dan prioritas strategi. Perumusan strategi disesuaikan dengan komponen kehilangan air terbanyak dan berfokus pada *low hanging fruit* (Ndirangu et al., 2013). Yang berarti, fokus pada penurunan kehilangan air yang mudah untuk dilakukan terlebih dahulu. Biasanya, kehilangan nonfisik merupakan komponen yang mudah untuk diturunkan dan berdampak terhadap kenaikan pendapatan. Sedangkan kehilangan fisik lebih sulit serta dampak bagi perusahaan lebih kecil karena hanya penurunan biaya (Farley et al., 2008).

Beberapa penelitian sebelumnya pernah menjelaskan bagaimana proses penilaian dan proses penurunan kehilangan air. Penelitian oleh Romdloni et al. (2021) merangkum studi kasus penurunan kehilangan air nonfisik dan fisik secara operasional yang dapat ditiru di PDAM lain. Nugroho et al. (2022) dan Umara (2022) juga mendeskripsikan bagaimana kehilangan air dapat diturunkan dengan melakukan investasi dan kegiatan operasional *District Metered Area* (DMA). Beberapa penelitian juga berfokus secara spesifik dalam penilaian kehilangan fisik (Aycheh et al., 2024) maupun nonfisik (Chandaeng et al., 2024).

Selain penilaian dan proses penurunan kehilangan air, beberapa artikel juga membahas metode-metode terbaru yang dapat digunakan untuk mendukung perumusan ataupun implementasi strategi. Jang et al. (2018) mengintegrasikan analisis komponen kehilangan fisik dan digabung dengan jaringan saraf tiruan. Feliciano et al. menjelaskan hubungan manajemen pengetahuan dan kapasitas operasional terhadap kinerja perusahaan air termasuk NRW di dalamnya. Studi literatur mendetail pernah dibuat untuk merangkum studi yang berkaitan dengan penurunan kehilangan air pada aspek nonfisik, fisik, maupun organisasi (Farouk et al., 2023).

Artikel ini berusaha melengkapi studi yang telah ada sebelumnya dengan menceritakan keseluruhan proses penurunan kehilangan air. Dimulai dari penilaian, perumusan strategi pada tingkat strategis sampai ke tingkat operasional, melakukan perencanaan proyek penurunan kehilangan air dan implementasi strategi. Harapannya, artikel ini dapat menjadi praktik terbaik yang dapat direplikasi oleh PDAM lain dalam menilai komponen kehilangan air dan membuat strategi penurunan kehilangan air.

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di lingkungan Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang (PDAM Kota Semarang). PDAM Kota Semarang melaksanakan amanat pelayanan air minum sesuai dengan Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 2 Tahun 2019 tentang

Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang. Walaupun PDAM Kota Semarang merupakan salah satu BUMD yang dikategorikan sehat menurut kinerja Permen PUPR serta salah satu PDAM terbesar di Indonesia, namun masih banyak ruang untuk peningkatan yang perlu dilakukan agar mandiri secara finansial. Pada aspek pelayanan, PDAM Kota Semarang baru melayani 52% dari seluruh wilayah Kota Semarang. Sedangkan pada aspek operasional, kehilangan air PDAM Kota Semarang ada di angka 45%, salah satu yang tertinggi di Indonesia (BPKP Jawa Tengah, 2024). Bila dilihat data 5 tahun terakhir pada **Gambar 2**, angka kehilangan air ini meningkat.



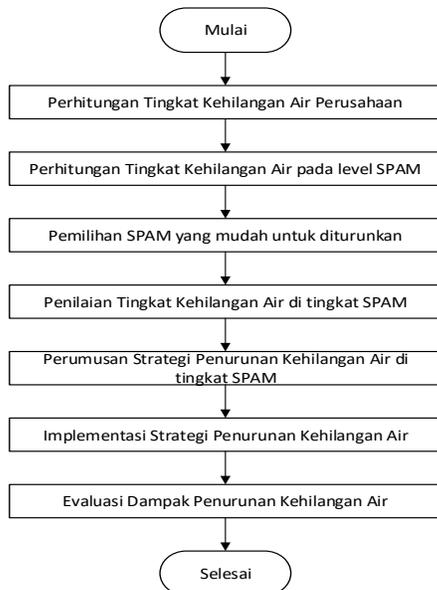
Gambar 2. Tren Tingkat Kehilangan Air di Semarang
Sumber Data: Audit BPKP tahun 2017 - 2021

PDAM Kota Semarang memproduksi air dari berbagai macam sumber. 75% dari Instalasi Pengolahan Air (IPA) permukaan, 9% dari mata air dan sumur dalam. Totalnya terdapat 8 zona aliran atau SPAM (Sistem Penyediaan Air Minum). Banyaknya IPA Permukaan berdampak pada tingginya Harga Pokok Produksi (HPP) dikarenakan proses produksi IPA Permukaan lebih kompleks dibandingkan dengan mata air dan sumur dalam. Proses yang kompleks ini disebut proses pengolahan air lengkap yang terdiri dari pra sedimentasi sampai disinfeksi (Spellman, 2017).

Oleh karenanya, penurunan TKA menjadi perhatian yang tinggi bagi manajemen. Baik manfaat peningkatan pendapatan ataupun manfaat penurunan biaya akan bermanfaat dalam meningkatkan posisi finansial perusahaan.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam artikel ini dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Metodologi penelitian

Kegiatan penelitian dimulai dengan melakukan penilaian Tingkat Kehilangan Air (TKA) di tingkat perusahaan. Sebagai badan usaha berbentuk perusahaan, perlu dilakukan penilaian di tingkat ini karena akan menjadi input dalam analisis lingkungan internal perusahaan. Pada proses manajemen strategik, analisis lingkungan internal akan menjadi input dalam merumuskan strategi di tingkat strategis yang nantinya diturunkan pada tingkat fungsional dan operasional (David, 2011). Kegiatan ini akan menentukan perlu atau tidaknya melakukan penurunan kehilangan air. Penilaian dilakukan dengan melakukan perhitungan neraca air berstandar IWA serta indikator kinerja TKA dengan *software* EasyCalc yang telah disediakan IWA. Hasil dari penilaian awal ini akan memengaruhi strategi perusahaan dalam mengalokasikan sumber daya untuk usaha menurunkan kehilangan air di tingkat fungsional dan operasional.

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan dan pemantauan kehilangan air secara rutin untuk semua SPAM dan *District Metered Area* (DMA) di perusahaan. DMA merupakan batasan wilayah untuk mempermudah pengendalian kebocoran dengan membantu perusahaan air minum dalam memantau dan melakukan intervensi (Nugroho et al., 2022). Perhitungan ini nantinya akan membantu PDAM dalam melakukan prioritas SPAM yang akan dijadikan percontohan untuk menurunkan kehilangan air. Sangat penting untuk memulai di SPAM ataupun DMA yang mudah atau *low hanging fruit* untuk diturunkan kehilangan airnya agar hasil pekerjaan dapat terlihat. Hasil yang didapatkan dapat digunakan untuk

membayai kebutuhan investasi maupun biaya operasional untuk menurunkan kehilangan air di wilayah yang membutuhkan sumber daya lebih banyak. Mengubah *vicious circle* menjadi *virtuous circle* (Farley et al., 2008).

SPAM atau wilayah percontohan terpilih akan dilakukan penilaian secara mendalam untuk mengetahui komponen kehilangan airnya. Sama seperti penilaian pada tingkat perusahaan, penilaian di tingkat fungsional juga dilakukan dengan membuat neraca air, menghitung indikator kinerja kehilangan air dengan *software* EasyCalc. Perhitungan di DMA juga dapat dilakukan dengan membuat *database* sederhana menggunakan Excel ataupun dengan mengembangkan sistem informasi perusahaan. Apabila SPAM telah di-digitasi dalam Sistem Informasi Geografis (GIS), maka dapat dibuat pemodelan hidrolis untuk membandingkan debit dan *head* teoritis dengan aktual (Menapace et al., 2020). Tujuan dilakukan penilaian ini adalah untuk mengidentifikasi komponen kehilangan air agar strategi yang nantinya dapat merumuskan strategi yang efektif untuk mengelola kebocoran sehingga kehilangan air dapat diturunkan. Dengan demikian, target yang realistis dapat dibuat.

Selanjutnya dilakukan perumusan strategi berdasarkan komponen kehilangan air. Manajer proyek harus memilih strategi yang tepat agar efektif dalam mengelola sumber daya yang telah diberikan perusahaan. Menurut Farley et al. (2008), pilar strategi penurunan kehilangan air tersebut antara lain:

Kehilangan nonfisik

- Ketidakakuratan meter
- Kesalahan baca meter
- Kesalahan penanganan data
- Pencurian air

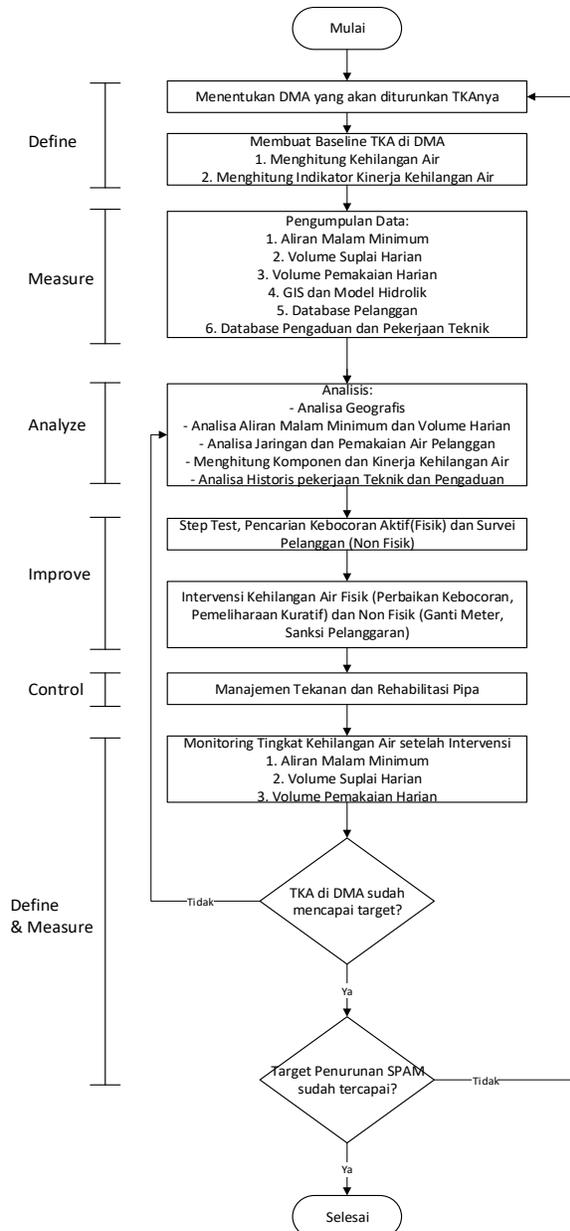
Kehilangan fisik

- Kecepatan dan kualitas perbaikan
- Pengendalian kebocoran aktif
- Manajemen tekanan
- Manajemen aset

Dengan terencananya strategi, maka langkah selanjutnya adalah melakukan implementasi penurunan kehilangan air. Implementasi dilakukan dengan prinsip DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) pada tingkat DMA sampai semua DMA telah mencapai target. DMAIC merupakan siklus peningkatan secara terus menerus (*continuous improvement*) untuk meningkatkan proses bisnis. Biasanya, DMAIC digunakan dalam *framework Six Sigma* untuk minimasi *defect/kegagalan* sampai 3,4 kegagalan per satu juta proses (Ramu, 2022).

Dalam pengelolaan ATR atau TKA, jarang artikel atau studi yang melakukan riset dengan pendekatan DMAIC. Salah satu riset sebelumnya pernah dilakukan oleh AlDairi & Badr (2021) dengan menggabungkan 5S, *Six Sigma* dan *Total Preventive Maintenance*. Namun, tidak semua perusahaan atau operator air minum mampu

mengimplementasi semua metode tersebut. Sehingga, artikel ini memodifikasi model konseptual tersebut agar lebih sederhana dan mudah diadopsi. Model konseptual yang telah dimodifikasi dapat dilihat di **Gambar 4**.



Gambar 4. Model konseptual implementasi penurunan kehilangan air di DMA

Intervensi dimulai dengan menentukan DMA mana yang akan diturunkan, menghitung kehilangan air dan indikator kinerja, serta menentukan berapa targetnya. Hal ini disebut dengan tahap *Define*. Setelah didefinisikan, selanjutnya adalah *Measure* atau mengukur. Pengukuran dilakukan melalui pengumpulan data primer ataupun pemanfaatan data sekunder. Data primer tersebut antara lain aliran malam minimum,

volume suplai harian dan volume pemakaian harian. Dengan dukungan teknologi *Internet of Things (IoT) data logger*, maka pemantauan dapat dilakukan harian. Penggunaan teknologi IoT sangat penting bagi PDAM untuk mempercepat siklus DMAIC. *Data logger* dapat mengukur tekanan dan debit secara *real time*. Selain data primer, data sekunder juga diperlukan. Data tersebut adalah tersimpan pada sistem basis data perusahaan seperti GIS, model hidrolik, *database* pelanggan dan *database* pengaduan dan pekerjaan teknik.

Selanjutnya, masuk ke tahap *Analyze*, pada tahap ini dilakukan analisis data dari data sekunder dan data tersier. Analisis yang dilakukan antara lain analisis geografis, analisis aliran malam minimum dan volume harian, analisis jaringan dan pemakaian air pelanggan, menghitung komponen dan kinerja kehilangan air, dan analisis historis pekerjaan teknik dan pengaduan. Tahap *analyze* ini bertujuan agar kegiatan di dalam DMA terarah dan dapat turun sesuai dengan target sesuai dengan hasil analisis

Pada tahap *Improve*, dilakukan eksekusi/intervensi aksi berdasarkan hasil dari tahap *Analyze*. Intervensi dapat berupa *step test*, pencarian kebocoran aktif (ALD) dan survei pelanggan. Setelah ditemukan penyebab kehilangan air tersebut, dilakukan tindak lanjut seperti perbaikan kebocoran, maupun ganti meter dan tindak sanksi pelanggaran. Pada tahap *Control*, dilakukan manajemen tekanan dan usulan rehabilitasi pipa. Tujuannya agar kehilangan air di dalam DMA tidak naik kembali. Kebocoran fisik biasanya dikarenakan pipa yang telah lama ataupun tekanan yang berlebih.

Setelah satu siklus DMAIC selesai, dilakukan *monitoring* kembali sampai TKA mencapai target. Apabila TKA pada DMA yang dipilih telah mencapai target, maka dilakukan pemilihan DMA lain sampai target proyek tercapai.

TKA di wilayah SPAM yang telah mencapai target, perlu dilakukan evaluasi. Evaluasi dilakukan untuk menilai dampak proyek dan apa saja yang dapat ditingkatkan untuk proyek selanjutnya. Evaluasi ini akan menjadi input untuk perumusan strategi di tingkat fungsional maupun strategis selanjutnya dalam menentukan sumber daya yang dibutuhkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penilaian dan Perumusan Strategi di Tingkat Perusahaan

Penilaian dan Perumusan Strategi dimulai pada level perusahaan. Di level perusahaan, PDAM Tirta Moedal melakukan penilaian menggunakan *software* EasyCalc yang dikembangkan oleh IWA. Untuk menyusun EasyCalc, diperlukan beberapa data antara lain:

- Volume distribusi

- Konsumsi resmi berekening (rekening air minum, pembelian tangki) dan tidak berekening (bantuan masyarakat, *washout*, tes pipa)
- Konsumsi tidak resmi (survei pelanggaran domestik dan nondomestik)
- Kesalahan meter (hasil uji/tera meter pelanggan)
- Jumlah pelanggan aktif dan pasif
- Panjang pipa yang disimpan pada GIS
- Data tekanan dan jam aliran
- Data finansial perusahaan

Menggunakan data-data tersebut, maka neraca air, dan indikator kinerja kehilangan air seperti ILI, CARL (*Current Annual Real Losses*), UARL (*Unavoidable Annual Real Losses*) dan lain-lain dihasilkan secara otomatis melalui *software*. Hasil dari neraca air dan indikator kinerja kehilangan yang merupakan output EasyCalc tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5** dan **Gambar 6**.

Volume Input Sistem 100,206,318 m3/tahun Margin Error +/- 5.0%	Konsumsi Resmi 54,075,950 m3/tahun Margin Error +/- 0.0%	Konsumsi Bermeter Berekening 51,705,266 m3/tahun		Air Berekening 51,719,544 m3/tahun	
		Konsumsi Resmi Berekening 51,719,544 m3/tahun	Konsumsi Tak Bermeter Berekening 14,278 m3/tahun		
Kehilangan Air 46,130,368 m3/tahun Margin Error +/- 10.9%	Kehilangan Air Non-Fisik 3,385,309 m3/tahun Margin Error +/- 3.2%	Konsumsi Resmi Tak Berekening 2,338,371 m3/tahun	Konsumsi Bermeter Tak Berekening 2,338,371 m3/tahun	Air Tak Berekening 48,486,774 m3/tahun Margin Error +/- 18.3%	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening 2,356,406 m3/tahun Margin Error +/- 0.3%	Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening 18,035 m3/tahun Margin Error +/- 36.1%		
		Kehilangan Air Non-Fisik 3,385,309 m3/tahun Margin Error +/- 3.2%			Konsumsi Tak Resmi 390,411 m3/tahun Margin Error +/- 3.5%
		Kehilangan Air Fisik 42,745,060 m3/tahun Margin Error +/- 11.7%			Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data 2,994,897 m3/tahun Margin Error +/- 3.6%

Gambar 5. Neraca Air PDAM Tahun 2022

Indikator Kinerja				
Tingkat Pelayanan				
	Estimasi Terbaik	Margin Error [+/- %]	Batas Bawah	Batas Atas
Jam Pelayanan Rata-rata [jam/hari]	20.4	10%	18.4	22.4
Tekanan Rata-rata [m]	11.0	5%	10.5	11.6
Volume Kehilangan Air Fisik				
	Estimasi Terbaik	Margin Error [+/- %]	Batas Bawah	Batas Atas
CAPL - Volume Tahunan Kehilangan Air Fisik Saat Ini [m3/hari]	117,110	12%	103,380	130,840
MAPL - Volume Minimum Kehilangan Air Fisik Yang Dapat Dicapai [m3/hari]	2,343	11%	2,078	2,608
Indikator Kinerja Kehilangan Air Fisik				
	Estimasi Terbaik	Margin Error [+/- %]	Batas Bawah	Batas Atas
Indeks Kebocoran Infrastruktur (ILI)	50	16%	42	58
Liter per Sambungan per Hari (w.s.p) w.s.p : saat jaringan bertekanan - artinya nilainya sudah disesuaikan/dikoreksi untuk suplai intermitten	626	16%	529	723
Liter per Sambungan per Hari per meter Tekanan (w.s.p)	57	16%	48	66
m3/km pipa/jam	1.78	500%	-7.12	10.68
Indikator Kinerja Kehilangan Air Non-Fisik				
	Estimasi Terbaik	Margin Error [+/- %]	Batas Bawah	Batas Atas
Kehilangan Air Fisik dinyatakan dalam % dari Konsumsi Resmi	6%	3%	6%	6%
liter/sambungan/hari	42	4%	41	44
l/pelanggan/hari	51	4%	49	53
ATR Kinerja Indikator				
	Estimasi Terbaik	Margin Error [+/- %]	Batas Bawah	Batas Atas
Volume Air Tak Berekening dinyatakan dalam % dari Volume Input Sistem	48%	10%	43%	53%
Nilai Air Tak Berekening dinyatakan dalam % dari Biaya Operasional Tahunan	83%	10%	74%	91%
Liter per Sambungan per Hari (w.s.p) w.s.p : saat jaringan bertekanan - artinya nilainya sudah disesuaikan/dikoreksi untuk suplai intermitten	710	15%	607	813

Gambar 6. Indikator Kinerja Kehilangan Air Tahun 2022

Akan tetapi, output dari EasyCalc tidak sesuai standar neraca air IWA untuk aspek kehilangan fisik. Oleh karenanya, PDAM Kota Semarang mengembangkan *template Excel* untuk melakukan analisis komponen kehilangan air fisik. Analisis komponen kehilangan air fisik ini dilakukan untuk memudahkan pengendalian kebocoran (Aboelnga et al., 2018). Hasil dari analisis komponen dapat dilihat pada **Gambar 7**.

Physical Losses 42,745,060 m ³ /year Error margin [+/-]: 18.1% Percentage of total: 100%	Reservoir and storage tanks overflow 0 m ³ /year Error margin [+/-]: - % of Physical losses: 0.0%	Reported leakage 150,037 m ³ /year of Physical losses: 0.4%	
	Unavoidable Annual Real Losses (UARL) 855195 m ³ /year Error margin [+/-]: 29% % of Physical losses: 2.0%	Secondary mains 231,168 m ³ /year of Physical losses: 0.5%	Primary mains 231,639 m ³ /year of Physical losses: 0.5%
	Reported leakage total 772,488 m ³ /year Error margin [+/-]: 25% % of Physical losses: 1.8%	Tertiary mains 220,425 m ³ /year of Physical losses: 0.5%	Service connections 170,858 m ³ /year of Physical losses: 0.4%
	Finding leakage total 985,509 m ³ /year Error margin [+/-]: 25% % of Physical losses: 2.3%	Finding leakage 415,400 m ³ /year of Physical losses: 1.0%	Inreported/Unknown leakage 8,712,973 m ³ /year of Physical losses: 20.4%
	Unreported/Unknown leakage total 40,131,868 m ³ /year Error margin [+/-]: 25% % of Physical losses: 93.9%	Service connections 160,433 m ³ /year of Physical losses: 0.4%	Secondary mains 9,341,397 m ³ /year of Physical losses: 21.9%
		Primary mains 14,514,714 m ³ /year of Physical losses: 34.0%	Tertiary mains 7,562,784 m ³ /year of Physical losses: 17.7%

Gambar 7. Hasil analisis komponen

Bagi PDAM Kota Semarang yang kehilangan air fisiknya tinggi, penyusunan analisis komponen akan membantu PDAM Kota Semarang untuk mengetahui di mana komponen kehilangan fisik paling banyak terjadi. Apakah kehilangan fisik terjadi pada pipa primer, sekunder, tersier, ataupun pipa dinas. Penilaian kehilangan air di PDAM Kota Semarang tersebut juga menunjukkan bahwa terdapat tantangan yang sangat besar bagi PDAM Kota Semarang untuk menurunkan kehilangan air, hal ini dapat dilihat pada nilai ILI (Gambar 6) yang sangat tinggi dan kebocoran yang tidak dilaporkan/tidak ditemukan juga cukup tinggi (Gambar 7). Dengan demikian, PDAM Kota Semarang memiliki tantangan yang besar untuk dapat menurunkan kehilangan air fisik.

Berdasarkan input analisis kehilangan air tersebut, Direksi mengambil langkah strategis dengan meng-formalkan tim Penurunan Kehilangan Air (PKA) menjadi bagian atau departemen khusus yang berfokus untuk menurunkan kehilangan air baik secara nonfisik maupun fisik. Selain itu, PDAM Kota Semarang juga mencari kesempatan pendanaan alternatif baik melalui pemerintah ataupun dari badan usaha lain agar dapat mendukung program penurunan kehilangan air secara finansial karena intervensi kehilangan air fisik bukan *low hanging fruit* alias membutuhkan banyak biaya. Selanjutnya, artikel ini tidak akan membahas tindak lanjut di aspek tersebut dan akan berfokus pada langkah fungsional dalam merencanakan dan implementasi proyek penurunan kehilangan air yang dilakukan oleh PDAM Kota Semarang.

Penilaian dan Perumusan Strategi Kehilangan Air di Satu Wilayah Percontohan

Walaupun tantangan yang dihadapi cukup berat, PDAM Kota Semarang melalui bagian PKA tetap bertekad untuk menurunkan TKA perusahaan. Agar hasil yang dilakukan dapat terlihat, dilakukan proyek penurunan kehilangan air pada wilayah percontohan. Dilakukan pemilihan secara kualitatif dan kuantitatif untuk menentukan SPAM yang dapat dipilih sebagai wilayah percontohan. Ada beberapa faktor yang menjadi pertimbangan antara lain:

- % wilayah SPAM didalam DMA
DMA mempermudah pelaksanaan intervensi penurunan kehilangan air. Hal ini dikarenakan DMA mempermudah dalam memantau efektivitas intervensi di suatu wilayah. Kehadiran alat monitoring seperti *Data Logger* juga mempermudah dalam melakukan monitoring DMA karena dapat dipantau secara daring dan rutin (harian).
- Tekanan dan Jam Aliran
Apabila tekanan sangat rendah dan jam alirannya giliran, maka intervensi penurunan kehilangan air akan berdampak pada perbaikan suplai air dan bukan berdampak terhadap penurunan TKA. Apabila tujuannya untuk menentukan TKA, maka lokasi yang dipilih harus dapat menunjukkan penurunan TKA. Pendekatan penilaian, perumusan, implementasi strategi dan evaluasinya pun caranya berbeda (Al-Washali et al., 2019).
- Kondisi Geografis, Permukiman dan Jaringan Geografis Semarang yang bervariasi serta wilayah yang selalu berkembang akan memengaruhi kondisi jaringan perpipaan. Sebagai contoh, SPAM/Zona di wilayah Utara Kota Semarang, membutuhkan sumber daya yang lebih banyak karena pengaruh *land subsidence*. Fenomena ini berdampak terhadap peninggian jalan dan bangunan sementara pipa tetap pada posisi yang sama, menyulitkan pencarian dan perbaikan kebocoran.
- Hasil Neraca Air
Perlu dilihat juga hasil neraca air EasyCalc dan analisis komponen. Penilaian ini akan menggambarkan sukses atau tidaknya proyek. Selain itu, pada *software* EasyCalc juga dapat dilakukan analisis *what if* untuk melihat manfaat dari hasil proyek. Berbeda dengan neraca air perusahaan, hasil neraca air di level SPAM juga harus divalidasi. Sebenarnya, neraca air di level perusahaan juga perlu divalidasi. Namun, tingkat kesulitan dan sumber daya yang terbatas menjadi kendala utama bagi PDAM untuk melakukan validasi neraca air. Validasi neraca air dilakukan dengan melakukan Tes Meter Air, Survei

Pelanggaran, dan melakukan Analisis Aliran Minimum/*Minimum Night Flow* (MNF).

Dengan kriteria-kriteria tersebut maka dipilihlah lokasi proyek di SPAM Gunungpati. SPAM Gunungpati merupakan sistem yang bersumber dari sumur dalam pada cekungan air tanah pemanfaatan yang dikumpulkan ke dalam Reservoir Gunungpati dengan jumlah pelanggan 7500 dengan 11 DMA. SPAM Gunungpati juga dirasa cocok sebagai percontohan karena persentase komponen kehilangan airnya hampir sama dengan komponen kehilangan air di tingkat perusahaan.

Untuk menanggapi komponen kehilangan air yang mayoritas adalah kehilangan fisik di pipa dinas, dibentuk tim pencarian kebocoran aktif atau *Active Leakage Detection* (ALD) sebagai respon tingkat fungsional untuk dapat memperkuat bagian kehilangan air. Tim ini dibentuk dengan dasar spesialisasi kerja dapat meningkatkan output kerja. Dalam mendukung tim ALD dan sebagai percontohan untuk membuat sistem pekerjaan teknik berbasis analisis, digunakan *software* mWater untuk mencatat kebocoran yang ditemukan dan status perbaikannya. Selain tim ALD, bagian PKA juga berusaha agar semua DMA dapat dimonitor secara *online* dengan memindahkan *data logger* di DMA yang tidak dipantau secara intensif ke DMA di SPAM Gunungpati.

Dengan sumber daya yang telah didefinisikan, maka selanjutnya dilakukan perencanaan proyek dan penentuan target. Target yang ditentukan adalah 25% dan rentang proyek selama 5 bulan.

Implementasi Strategi

Langkah selanjutnya adalah melakukan implementasi strategi sesuai dengan model konseptual DMAIC yang dijelaskan pada **Gambar 4**. Implementasi dilakukan terus menerus sampai semua DMA telah disurvei penyebab kehilangan airnya. Berikut adalah deskripsi singkat implementasi yang dilakukan PDAM pada salah satu DMA di SPAM Gunungpati, DMA Greenwood:

1. *Define*

Pada tahap *define* ditentukan kehilangan air di DMA Greenwood adalah 48% dengan target penurunan menjadi 30%.

2. *Measure*

Pada tahap ini, PDAM melakukan pengukuran lapangan menggunakan *data logger* dan analisis jaringan di QGIS.

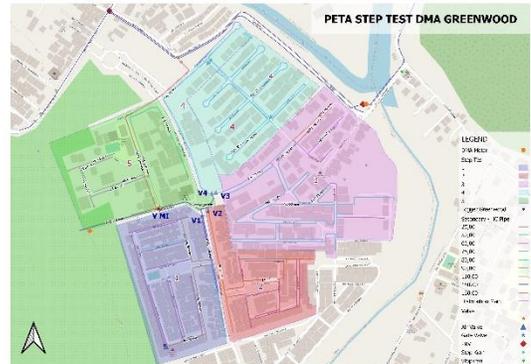
3. *Analyze*

Berdasarkan hasil *data logger* dan data jaringan yang berada di GIS, DMA Greenwood memiliki indikator kinerja kebocoran sebagai berikut:

- 450 liter per sambungan per hari.
- Nilai MNF sebesar 15 m³/h

Hal tersebut menunjukkan bahwa DMA Greenwood tinggi akan kehilangan air fisik. Analisis jaringan juga menunjukkan bahwa DMA

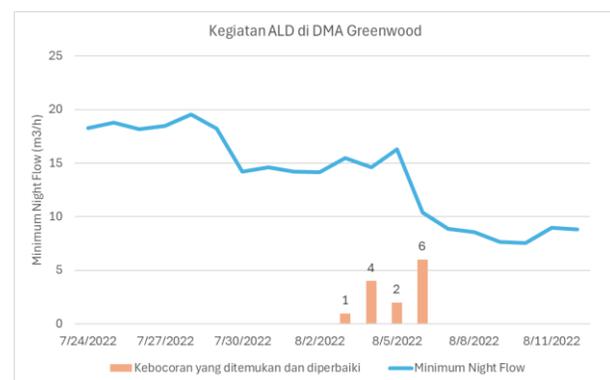
Greenwood memungkinkan untuk dilakukan *step test*, sehingga PDAM merencanakan kegiatan *step test* sebagai awal.



Gambar 8. Peta Step Test DMA Greenwood dibagi menjadi 5 wilayah

4. *Improve*

Sebagai awal pada tahap *Improve*, dilakukan kegiatan *step test* untuk mengidentifikasi kebocoran dengan mudah. Hasil *step test* menunjukkan bahwa dQ/SR di semua 5 wilayah tersebut menunjukkan kelas bocor sedang tinggi. dQ/SR merupakan indikator yang digunakan untuk menilai tingkat kebocoran dari rendah, sedang, tinggi (Umara, 2022). Setelah *step test*, PDAM langsung menerjunkan tim ALD untuk melakukan pencarian kebocoran selama 1 minggu di wilayah tersebut. Kegiatan ALD dirasa efektif untuk menurunkan kehilangan air. Hal ini terlihat pada penurunan MNF sebelum kegiatan ALD sebesar 15 m³/h menjadi 9 m³/h setelah kegiatan ALD. Visualisasi penurunan MNF tersebut dapat dilihat pada **Gambar 9**.



Gambar 9. Hasil Kegiatan ALD di DMA Greenwood

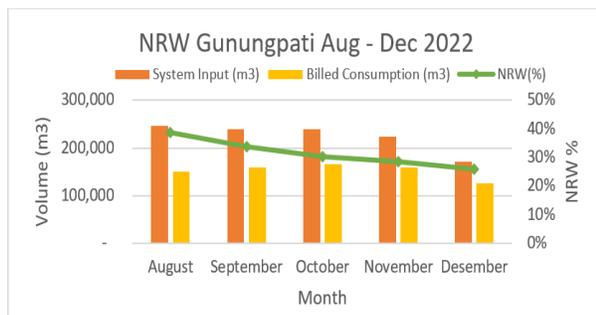
Dengan MNF sebagai indikator, maka intervensi di DMA Greenwood telah berhasil dilaksanakan.

5. Control

Keberhasilan penurunan TKA perlu dijaga dengan menerapkan tahap terakhir yaitu *control*. Intervensi perbaikan kebocoran yang dilakukan menyebabkan kenaikan tekanan sehingga perlu penyesuaian tekanan agar pipa tidak bocor karena tekanan yang tinggi. Untuk mitigasi kegagalan di masa depan, PDAM melakukan penyesuaian ulang *Pressure Reducing Valve* (PRV) agar tidak terjadi tekanan berlebih namun tetap menjaga standar kualitas layanan sesuai yang tertera pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Nomor 27 tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum, yang di mana tekanan di pelanggan kritis (terjauh dan tertinggi) sebesar 0,7 bar. Langkah tersebut menurunkan TKA kebocoran di DMA Greenwood dari 39% atau 445 liter/sambungan/hari menjadi stabil 14% atau 120 liter/sambungan/hari. Angka ini stabil sampai proyek penurunan TKA SPAM Gunungpati selesai.

Hasil dan Evaluasi

Siklus DMAIC tersebut dilakukan berulang-ulang pada seluruh DMA. Hasil akhir dari TKA di SPAM Gunungpati dapat dilihat pada **Gambar 10**.



Gambar 10. Hasil Penurunan Kehilangan Air

Setelah berjalan selama 5 bulan, didapatkan nilai TKA sebesar 26% dari yang sebelumnya 39%. Hal ini merupakan pencapaian bagi PDAM Kota Semarang karena berhasil menurunkan TKA dengan pendekatan operasional. Saat dilakukan analisis kasus bisnis oleh PDAM Kota Semarang, ditemukan bahwa PDAM menyelamatkan air sebanyak 711.000 m³ per tahun atau biaya produksi sebesar 500 juta rupiah per tahun. Nilai ini cukup baik mengingat tidak dilakukan investasi ataupun rehabilitasi jaringan.

KESIMPULAN

Artikel ini menjelaskan bagaimana proses penilaian, perumusan dan implementasi strategi penurunan TKA dilaksanakan di PDAM Kota Semarang. Proses dimulai dengan melakukan penilaian TKA di tingkat perusahaan dengan menyusun neraca air dan analisis komponen kehilangan air. Penilaian dilakukan di tingkat perusahaan terlebih dahulu agar sumber daya

yang dibutuhkan dapat dirumuskan pada tingkat strategis sebelum diturunkan ke tingkat fungsional dan operasional. Pada tingkat perusahaan atau strategis, ditemukan bahwa komponen kehilangan air terbanyak adalah kehilangan air fisik sehingga direksi perusahaan melakukan formalisasi bagian PKA yang dapat membuat program kerja dan memiliki anggaran tersendiri.

Selanjutnya, dilakukan penilaian dan perumusan di tingkat yang lebih rendah yaitu di tingkat fungsional. Dalam hal ini, PDAM melalui bagian PKA memilih satu wilayah SPAM yang *low hanging fruit* untuk diturunkan nilai TKA-nya. Dilakukan penilaian yang sama seperti di tingkat perusahaan dengan menyusun neraca air dan analisis komponen kehilangan air. Setelah itu, dilakukan perumusan strategi berdasarkan hasil penilaian. Pada kasus ini, bagian PKA membuat tim khusus pencarian kebocoran (ALD) dan pemanfaatan teknologi IoT *data logger* sebagai respon strategi di tingkat fungsional untuk melaksanakan implementasi strategi dengan pendekatan DMAIC.

Implementasi strategi dilakukan dengan pendekatan DMAIC pada setiap DMA sampai target di level SPAM dan di DMA tercapai. Karena sumber daya dan strategi yang telah terdefinisi, maka kegiatan implementasi dapat berjalan dengan lancar. Proses ini terbukti efektif, dimana TKA di SPAM Gunungpati dapat turun dari 39% menjadi 26%. Walaupun demikian, perjalanan PDAM Kota Semarang untuk menekan angka TKA masih panjang mengingat masih ada 7 SPAM atau zona aliran yang masih perlu diturunkan dengan kompleksitas yang lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuelnga, H., Saidan, M., Al-Weshah, R., Sturm, M., Ribbe, L., & Frechen, F.-B. (2018). Component analysis for optimal leakage management in Madaba, Jordan. *Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua*, 67(4), 384–396. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.180>
- AIDairi, J. S., & Badr, A. (2021). Management of Water Losses in Water Distribution Systems Using Lean Six Sigma Framework. *Towards a Sustainable Water Future: Proceedings of Oman's International Conference on Water Engineering and Management of Water Resources*, 91–101.
- AL-Washali, T. M., Elkhider, M. E., Sharma, S. K., & Kennedy, M. D. (2020). A review of nonrevenue water assessment software tools. *WIRES Water*, 7(2). <https://doi.org/10.1002/wat2.1413>
- Al-Washali, T., Sharma, S., Al-Nozaily, F., Haidera, M., & Kennedy, M. (2019). Monitoring nonrevenue water performance in intermittent supply. *Water*

- (Switzerland), 11(6).
<https://doi.org/10.3390/w11061220>
- Aycheh, Y. F., Yihun, D. A., Alemu, C. M., & Zimale, F. A. (2024). *Assessment of the Causes of Non-revenue Water in Urban Water Distribution Systems: The Case of Bahir Dar City, Ethiopia* (hlm. 229–248). https://doi.org/10.1007/978-3-031-41173-1_14
- BPKP Jawa Tengah. (2024). *Laporan Evaluasi Kinerja Perumda Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang Tahun 2023*.
- Chandaeng, S., Sawangjang, B., Kazama, S., & Takizawa, S. (2024). Analysis of the factors influencing the fluctuation of non-revenue water in Luangprabang City, Laos. *AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 73(3), 453–463. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.246>
- David, F. R. (2011). *Strategic Management: Concepts and Cases* (13 ed.).
- Farley, M., Wyeth, G., Bin, Z., Ghazali, M., Istandar, A., Singh, S., Van Dijk, N., Raksakulthai, V., & Kirkwood, E. (2008). *The Manager's Non-Revenue Water Handbook A Guide to Understanding Water Losses*.
- Farouk, A. M., Rahman, R. A., & Romali, N. S. (2023). Non-revenue water reduction strategies: a systematic review. *Smart and Sustainable Built Environment*, 12(1), 181–199. <https://doi.org/10.1108/SASBE-04-2021-0071>
- Feliciano, J. F., Arsénio, A. M., Cassidy, J., Santos, A. R., & Ganhão, A. (2021). Knowledge Management and Operational Capacity in Water Utilities, a Balance between Human Resources and Digital Maturity—The Case of AGS. *Water*, 13(22), 3159. <https://doi.org/10.3390/w13223159>
- Heryanto, T., Sharma, S. K., Daniel, D., & Kennedy, M. (2021). Estimating the Economic Level of Water Losses (ELWL) in the Water Distribution System of the City of Malang, Indonesia. *Sustainability*, 13(12), 6604. <https://doi.org/10.3390/su13126604>
- Jang, D., Park, H., & Choi, G. (2018). Estimation of Leakage Ratio Using Principal Component Analysis and Artificial Neural Network in Water Distribution Systems. *Sustainability*, 10(3), 750. <https://doi.org/10.3390/su10030750>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Cipta Karya Direktorat Air Minum. (2023). *Kinerja BUMD Air Minum Tahun 2023*.
- Leakssuite Library Ltd. (2019, Mei 20). *Overviews of Leakage by Country using reported ILI data*. <https://www.leakssuitelibrary.com/ili-overviews-by-country/>
- Liemberger, R., & Farley, M. (2004). *Developing a Non-Revenue Water Reduction Strategy, Part 1: Investigating and Assessing Water Losses*.
- Menapace, A., Pisaturo, G. R., De Luca, A., Gerola, D., & Righetti, M. (2020). EPANET in QGIS framework: the QEPANET plugin. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 69(1), 1–5. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.087>
- Ndirangu, N., Ng'ang'a, J., Chege, A., de Blois, R.-J., & Mels, A. (2013). Local solutions in Non-Revenue Water management through North–South Water Operator Partnerships: the case of Nakuru. *Water Policy*, 15(S2), 137–164. <https://doi.org/10.2166/wp.2013.117>
- Nugroho, B. T. B., Sarminingsih, A., & Samadikun, B. P. (2022). Penerapan Jaringan Distribusi Sistem District Meter Area (DMA) SPAM Semarang Barat dalam Optimalisasi Penurunan Kehilangan Air Ditinjau dari Aspek Teknis dan Finansial (Studi Kasus: Area Pelayanan Reservoir Manyaran 1). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(4), 872–879.
- Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 2 Tahun 2019 tentang Perusahaan Umum Daerah Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang, Pub. L. No. 2 (2019).
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 18 Tahun 2007 tentang Penyelenggaraan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum, Pub. L. No. 18/PRT/M/2007 (2007).
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27 tahun 2016 tentang Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum, Pub. L. No. NOMOR 27/PRT/M/2016 (2016).
- Peraturan Pemerintah (PP) tentang Sistem Penyediaan Air Minum, Pub. L. No. 122 (2015).
- Ramu, G. (2022). *The ASQ Certified Six Sigma Yellow Belt Handbook*. ASQ Quality Press. <https://books.google.co.id/books?id=GuqiEAAAQBAJ>
- Romdloni, A., Ahyar, A., & Soedjono, E. S. (2021). Studi Kehilangan Air Fisik dan Kehilangan Air Komersial (Studi Kasus: PDAM Kota Malang). *Spesial Issue Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia*, 6(2), 1190–1201.
- Seago, C., Mckenzie, R., & Liemberger, R. (2005). *International Benchmarking of Leakage from Water Reticulation Systems*.
- Spellman, F. R. (2017). *The Drinking Water Handbook*. CRC Press.
- Umara, F. (2022). *Analisis Kehilangan Air Fisik Menggunakan Metode District Meter Area (Studi Kasus Zona Kenali Jaya)*. Universitas Batanghari.