Analisis Kesenjangan Pengendalian *Non-Revenue Water* PDAM Salatiga berbasis *Technology-Organization-Environment*

Gap Analysis of Non-Revenue Water Control at PDAM Salatiga using the Technology-Organization-Environment Framework

[1]Hilkia*, [2]Hanna Prillysca Chernovita
[1,2,3]Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana
[1,2,3]Jl. Dr. O. Notohamidjojo No. 1-10, Blotongan, Kec. Sidorejo, Kota Salatiga, Jawa Tengah 50715, Indonesia
*e-mail: [1]682023043@student.uksw.edu, [2]hanna.chernovita@uksw.edu

(***received*:** 13 October 2026, ***revised*:** 9 November 2026, ***accepted*:** 10 November 2026)

Abstrak

Non-Revenue Water (NRW) masih menjadi beban operasional utama perusahaan daerah air minum di Indonesia, termasuk PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga yang tingkat kehilangan airnya berada di kisaran 27%. Pemantauan jaringan distribusi yang belum sepenuhnya digital, sistem SCADA yang masih dalam tahap perintisan, serta keterbatasan kapasitas sumber daya manusia menyebabkan pengendalian NRW belum optimal. Penelitian ini bertujuan menganalisis kesenjangan antara kondisi aktual dan kondisi ideal pengendalian NRW, mengidentifikasi faktor pendukung dan penghambat adopsi teknologi digital, serta merumuskan rekomendasi strategis. Penelitian menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus tunggal berbasis kerangka *Technology-Organization-Environment* (TOE). Data dikumpulkan melalui wawancara mendalam dengan tiga informan kunci, observasi, dan studi dokumentasi, kemudian dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña serta divalidasi melalui triangulasi sumber dan *member checking*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada dimensi teknologi, SCADA belum terintegrasi dari hulu ke hilir, sedangkan aplikasi web pencatatan tera meter yang diimplementasikan sejak Mei 2026 mempercepat rekap hasil pengujian fisik meter dari dua hingga tiga hari menjadi tersedia saat data diunggah, sehingga meter yang perlu diganti dapat lebih cepat ditindaklanjuti. Pada dimensi organisasi, dukungan pimpinan kuat, tetapi kebiasaan kerja manual dan belum tersusunnya prosedur operasional baku menjadi penghambat. Pada dimensi lingkungan, target penurunan NRW dari Kementerian Pekerjaan Umum menjadi pendorong sekaligus beban di tengah keterbatasan anggaran dan infrastruktur. Penelitian ini merekomendasikan integrasi SCADA ke dalam satu platform, formalisasi prosedur pencatatan digital, pelatihan yang berfokus pada perubahan perilaku, serta perluasan sistem tera meter digital sebagai fondasi integrasi.

Kata kunci: *non-revenue water*, transformasi digital, *technology-organization-environment*, perusahaan daerah air minum, tera meter

Abstract

Non-Revenue Water (NRW) remains a major operational burden for regional water utilities in Indonesia, including PDAM Tirta Dharma, Salatiga City, where the water loss rate is approximately 27%. Incomplete digital monitoring of the distribution network, a Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) system that is still in its early implementation stage, and limited human resource capacity have hindered effective NRW control. This study aims to analyze the gaps between existing and ideal NRW control conditions, identify the supporting and inhibiting factors affecting digital technology adoption, and formulate strategic recommendations. A qualitative approach was employed using a single-case study design based on the Technology–Organization–Environment (TOE) framework. Data were collected through in-depth interviews with three key informants, observations, and document analysis. The data were analyzed using the interactive model of Miles, Huberman, and Saldaña and validated through source triangulation and member checking. The findings reveal that, in the technological dimension, the SCADA system has not yet been integrated across the entire water supply chain. Meanwhile, a web-based meter verification recording

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

application, implemented in May 2026, has accelerated the compilation of physical meter testing results, reducing the processing time from two to three days to immediate availability upon data upload. This enables meters requiring replacement to be identified and addressed more promptly. In the organizational dimension, management support is strong; however, established manual work practices and the absence of standardized operating procedures remain significant barriers. In the environmental dimension, the Ministry of Public Works' NRW reduction targets act as both a driving force and an additional burden amid budgetary and infrastructure constraints. This study recommends integrating SCADA into a unified platform, formalizing digital recording procedures, providing training focused on behavioral change, and expanding the digital meter verification system as a foundation for broader system integration.
Keywords: *non-revenue water, digital transformation, technology-organization-environment, regional water utility, water meter testing*

1 Pendahuluan

Non-Revenue Water (NRW) merupakan selisih antara volume air yang diproduksi dan volume air yang menghasilkan pendapatan, dan hingga kini masih menjadi beban operasional utama bagi perusahaan daerah air minum (PDAM) di Indonesia [1], [2]. PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga menghadapi persoalan ini secara nyata: pemantauan jaringan distribusi belum sepenuhnya digital, sistem *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) masih dalam tahap perintisan dan belum berjalan optimal, serta terdapat kendala pada kapasitas sumber daya manusia (SDM) dalam mengadopsi teknologi, persoalan yang juga lazim dijumpai pada utilitas air di negara berkembang [3]. Kondisi tersebut berdampak langsung pada belum optimalnya pengendalian NRW yang hingga saat ini masih berada di kisaran 27%.

Persoalan ini bukan kasus tunggal. Di Jakarta, NRW tercatat bertahan pada kisaran 40–45% meskipun infrastruktur pemantauan digital telah dibangun [4], sementara di PDAM Tirta Khatulistiwa NRW mencapai 42,48–47,06% dengan penyebab yang berlapis, termasuk meter pelanggan yang buram dan macet [5]. Kedua kasus tersebut memperlihatkan dua sisi persoalan yang sama: di satu sisi, kehilangan semu akibat pencatatan meter yang tidak andal masih menjadi sumber kehilangan pendapatan yang nyata; di sisi lain, kehadiran teknologi digital tidak otomatis menurunkan NRW apabila organisasi belum siap memanfaatkannya. Bagi PDAM kota menengah dengan anggaran terbatas, pertanyaan yang lebih relevan bukan lagi teknologi apa yang perlu dibeli, melainkan sejauh mana kesiapan teknologi, organisasi, dan lingkungannya untuk mendukung pengendalian NRW secara berkelanjutan.

Riset terkini menunjukkan bahwa teknologi digital, seperti *Internet of Things* (IoT), analitik data aliran, dan sistem pemantauan terpusat, semakin dimanfaatkan untuk deteksi kebocoran dan pengendalian kehilangan air [6], [7]. Namun, keberhasilan transformasi digital tidak hanya ditentukan oleh investasi teknologi, tetapi juga oleh kesiapan dan kemampuan adaptasi organisasi [8]. Oleh karena itu, kerangka *Technology-Organization-Environment* (TOE) dipilih sebagai kerangka analisis karena kemampuannya membaca adopsi teknologi dari tiga dimensi sekaligus, yaitu teknologi, organisasi, dan lingkungan [9].

Di PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga, upaya pengendalian NRW dikelola oleh Sub Bagian NRW dan SCADA, unit yang relatif baru dibentuk. Salah satu program utamanya adalah pengujian (tera) meter pelanggan untuk menekan kehilangan semu. Namun, hingga awal 2026 hasil pengujian masih dicatat pada blangko kertas, diketik ulang ke perangkat lunak perkantoran, dan baru dapat direkap dalam dua hingga tiga hari, sehingga keputusan penggantian meter berjalan lambat. Kondisi ini mendorong peneliti mengembangkan aplikasi web pencatatan tera meter yang diterapkan sejak Mei 2026. Aplikasi ini tidak mengubah cara meter diuji, karena pengujian tetap dilakukan secara fisik oleh petugas di lapangan; yang diubah adalah cara hasil pengujian dicatat, direkap, dan dipantau. Kehadiran intervensi tersebut menjadikan PDAM Salatiga kasus yang tepat untuk mengamati bagaimana adopsi teknologi digital berinteraksi dengan kesiapan organisasi dan lingkungan dalam pengendalian NRW.

Terdapat tiga celah penelitian (*research gap*) yang mendasari urgensi penelitian ini. Pertama, celah teoretis: kerangka TOE belum diterapkan secara eksplisit untuk menganalisis transformasi digital PDAM dalam konteks pengendalian NRW di Indonesia. Kedua, celah empiris: studi transformasi digital PDAM yang ada lebih banyak berfokus pada layanan pelanggan dan efisiensi bisnis secara umum [10], [11], bukan pada kesiapan digital yang dikaitkan langsung dengan kondisi NRW di lapangan. Ketiga, celah kontekstual: kajian NRW berbasis teknologi umumnya dilakukan

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

pada skala lintas negara, di negara maju, atau di kota besar [3], [4], [6], [7], sehingga PDAM skala kota menengah seperti Salatiga yang masih berada dalam fase transisi dari operasi manual ke digital belum terwakili dalam literatur.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan penelitian ini dirumuskan ke dalam tiga pertanyaan, yaitu: (1) bagaimana kesenjangan antara kondisi aktual dan kondisi ideal dalam pemantauan dan pengendalian NRW di PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga; (2) faktor apa saja pada dimensi teknologi, organisasi, dan lingkungan yang mendukung atau menghambat adopsi teknologi digital; dan (3) rekomendasi strategis apa yang dapat diusulkan untuk mengoptimalkan pengendalian NRW. Rumusan ini penting karena target penurunan NRW yang ditetapkan pemerintah tidak dapat dicapai hanya dengan menambah perangkat teknologi tanpa memahami kesiapan organisasi dan lingkungan yang melingkupinya.

Sejalan dengan rumusan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mendokumentasikan dan menganalisis kesenjangan kondisi pemantauan NRW di PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga, mengidentifikasi faktor pendukung dan penghambat adopsi teknologi digital berdasarkan kerangka TOE, serta merumuskan rekomendasi strategis berbasis temuan lapangan untuk optimalisasi pengendalian NRW. Secara teoretis, penelitian ini memperluas penerapan kerangka TOE ke sektor utilitas air minum di tingkat daerah, sedangkan secara praktis hasilnya dapat menjadi rujukan bagi PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga maupun PDAM kota menengah lain yang sedang menjalani transisi digital.

2 Tinjauan Literatur

Kajian mengenai NRW menunjukkan bahwa persoalan kehilangan air tidak dapat dipandang semata-mata sebagai masalah teknis. Santos [1] membuktikan melalui analisis regresi pada sejumlah utilitas air di Portugal bahwa tingginya volume air yang tidak tertagih berkaitan dengan rendahnya margin keuntungan, sehingga NRW merupakan ancaman langsung bagi keberlanjutan finansial pengelola. Farah dan Shahrour [2] membedakan kehilangan fisik akibat kebocoran pipa dan sambungan dari kehilangan semu akibat ketidakakuratan meter dan kesalahan pencatatan, serta mencatat bahwa 20–30% air di sistem distribusi hilang sebelum mencapai konsumen, bahkan hingga 50% pada jaringan yang menua, sehingga teknologi pemantauan menjadi kebutuhan utama untuk mendeteksi kehilangan fisik. Di Indonesia, Pratama dkk. [5] mencatat NRW PDAM Tirta Khatulistiwa sebesar 42,48–47,06% pada periode 2019–2023 dengan penyebab berlapis, mulai dari kebocoran pipa distribusi utama hingga meter pelanggan yang buram, macet, dan sulit dibaca. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa kehilangan semu akibat pencatatan meter yang tidak andal merupakan persoalan nyata di PDAM daerah, tetapi kajiannya masih didominasi pendekatan neraca air (*water balance*) yang bersifat teknis.

Dari sisi teknologi, Grigg [6] menunjukkan bahwa adopsi digital di utilitas air berlangsung bertahap, terutama untuk manajemen pemeliharaan, pembaruan sistem, dan pengendalian kehilangan air, serta dibatasi oleh pertimbangan biaya, regulasi, kapasitas tenaga kerja, dan infrastruktur tua yang harus disambungkan dengan sistem kendali baru. Dalam ekosistem digital, SCADA berperan sebagai tulang punggung pengumpulan dan transmisi data, sementara sensor IoT memperluas jangkauan pemantauan ke area yang sebelumnya tidak terjangkau inspeksi manual. Obunga dkk. [3] membandingkan penerapan IoT dalam pengelolaan NRW pada berbagai jaringan distribusi dan menunjukkan potensinya untuk mempercepat deteksi kebocoran, meskipun tingkat adopsinya masih timpang di negara berkembang. Tinjauan sistematis Ascenção dkk. [12] terhadap 62 artikel juga menemukan bahwa *smart meter* merupakan aplikasi yang paling dominan dalam sistem pengelolaan air cerdas dan berkaitan erat dengan manajemen kehilangan air, namun kerangka integrasi antaraplikasi dan peta jalan implementasinya masih menjadi celah yang belum terjawab.

Literatur tentang *smart meter* relevan bagi penelitian ini bukan karena perangkatnya, melainkan karena menunjukkan nilai data meter yang akurat dan cepat tersedia bagi pengendalian kehilangan semu. Santos [1] merekomendasikan investasi pada infrastruktur meteran dan pencatatan yang akurat untuk menekan air tak tertagih, sedangkan Ascenção dkk. [12] mencatat bahwa *smart meter* berkaitan erat dengan manajemen kehilangan air. Namun, *smart meter* mengotomatiskan pembacaan dan pengiriman data dari meter itu sendiri dan memerlukan investasi perangkat yang besar. Aplikasi yang dikaji dalam penelitian ini berbeda secara mendasar: meter tetap diuji secara fisik dan hasilnya dimasukkan secara manual oleh petugas melalui formulir web, sehingga yang didigitalkan hanyalah alur pencatatan, rekapitulasi, dan pelaporan. Oleh karena itu, literatur *smart meter* tidak dipakai sebagai dasar langsung, melainkan sebagai pembanding yang menunjukkan tujuan yang sama, yaitu

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

data meter yang akurat dan tepat waktu. Pada PDAM kota menengah yang masih mengandalkan pengujian (tera) meter manual [5], tujuan tersebut dapat didekati secara bertahap melalui digitalisasi pencatatan. Bagaimana digitalisasi bertahap semacam ini berjalan, serta faktor organisasi dan lingkungan yang memengaruhinya, belum banyak dikaji.

Meskipun demikian, keberhasilan teknologi tidak terjadi secara otomatis. Rajan dan Li [7] menemukan bahwa efektivitas teknik deteksi kebocoran otomatis sangat bergantung pada kualitas data dan kalibrasi sensor yang konsisten, dua prasyarat yang sulit dipenuhi oleh utilitas air dengan infrastruktur yang belum terstandarisasi. Studi kasus Wirahadikusumah dkk. [4] di Jakarta bahkan memperlihatkan bahwa NRW tetap bertahan di kisaran 40–45% meskipun *district metered area*, SCADA, dan *advanced metering infrastructure* telah diterapkan, karena rutinitas organisasi, kemandirian kapabilitas, dan pemanfaatan keluaran pemantauan belum berjalan konsisten. Pada skala daerah, Wardana dan Kusuma [10] menemukan bahwa divisi distribusi PDAM yang belum mengadopsi sistem digital cenderung lamban merespons laporan kebocoran, sedangkan Manalu dkk. [11] yang mengevaluasi aplikasi layanan pelanggan Perumda Air Minum Surya Sembada Surabaya menemukan bahwa kinerja aplikasi yang lambat menjadi keluhan utama pengguna. Temuan-temuan ini mempertegas bahwa teknologi hanyalah satu variabel dari persoalan yang lebih kompleks, karena kualitas sistem dan kesiapan penggunanya ikut menentukan apakah teknologi benar-benar dimanfaatkan.

Kerangka TOE yang dirumuskan oleh Tornatzky dan Fleischer [13] menawarkan perspektif yang lebih holistik dibandingkan model adopsi berbasis individu seperti *Technology Acceptance Model*, karena memandang keputusan adopsi di tingkat organisasi sebagai hasil interaksi simultan antara karakteristik teknologi, kondisi internal organisasi, dan tekanan lingkungan eksternal. Küçükoğlu dan Kabakuş [8] yang menerapkan TOE pada sektor perbankan Turki, sektor yang juga sangat teregulasi seperti halnya PDAM, menemukan bahwa perubahan organisasional menjadi mekanisme kunci yang menghubungkan teknologi dengan transformasi digital, sehingga keberhasilannya tidak hanya bergantung pada investasi teknologi, tetapi juga pada kesiapan dan kemampuan adaptasi organisasi. Meta-analisis Nagy dkk. [9] terhadap 27 studi menunjukkan bahwa ketiga dimensi TOE berhubungan positif dengan kinerja usaha kecil dan menengah sektor pertanian, yaitu organisasi dengan sumber daya terbatas. Pada sektor publik, Kitsios dkk. [14] menunjukkan bahwa kebijakan pemerintah dan tuntutan masyarakat menjadi pendorong utama digitalisasi, tetapi manfaatnya baru dirasakan setelah terjadi pergeseran budaya kerja dan keterampilan pegawai. Haug dkk. [15] melalui tinjauan sistematis terhadap 164 studi juga menyimpulkan bahwa perubahan berbasis digital di organisasi publik berlangsung secara inkremental dan sangat dipengaruhi oleh faktor pendorong serta proses implementasinya. Dalam konteks PDAM, Angraini dan Suhanda [16] menunjukkan bahwa tata kelola PDAM dibentuk oleh relasi prinsipal–agen antara pemerintah daerah, dewan pengawas, dan direksi, di mana pemerintah daerah menyerahkan kewenangan operasional sambil tetap memegang fungsi pengawasan. Struktur ini mengisyaratkan bahwa arah kebijakan dan akuntabilitas pimpinan menentukan ruang gerak unit operasional dalam merespons perubahan. Dengan demikian, TOE tidak sekadar menjadi alat analisis teknis, melainkan instrumen yang mampu menangkap kompleksitas sosial-organisasional dari transformasi digital PDAM.

Apabila dibaca melalui lensa TOE, literatur yang ditelaah dapat dikelompokkan ke dalam tiga arus. Arus pertama menyoroti dimensi teknologi, yaitu efektivitas IoT, SCADA, dan *smart meter* dalam mendeteksi kehilangan air [2], [3], [6], [7], [12]. Arus kedua menyoroti dimensi organisasi, yaitu kepemimpinan, tata kelola, rutinitas, dan budaya kerja yang menentukan apakah teknologi benar-benar dimanfaatkan [4], [10], [14], [15], [16]. Arus ketiga menyoroti dimensi lingkungan, yaitu regulasi, tekanan publik, dan kondisi sektor yang mendorong atau membatasi digitalisasi [6], [8], [14]. Ketiga arus tersebut umumnya dikaji secara terpisah, padahal temuan kasus Jakarta [4] menunjukkan bahwa kegagalan menurunkan NRW justru terjadi pada titik temu ketiganya. Pemetaan kontribusi setiap rujukan terhadap penelitian ini dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Matriks tinjauan pustaka.

Ref.	Penulis, Tahun	Fokus Kajian	Temuan Kunci	Kontribusi bagi Penelitian
[1]	Santos, 2024	NRW dan keberlanjutan ekonomi	Air tak tertagih menekan margin keuntungan utilitas	Fondasi konseptual NRW
[2]	Farah & Shahrour, 2024	Metode deteksi kebocoran	Kebocoran fisik sulit terdeteksi tanpa teknologi pemantauan	Urgensi SCADA/IoT untuk kehilangan fisik

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

[3]	Obunga dkk., 2025	IoT untuk NRW	IoT berpotensi mempercepat deteksi kebocoran; adopsi timpang di negara berkembang	Bukti solusi digital; celah kontekstual
[4]	Wirahadikusumah dkk., 2026	Tata kelola dan digitalisasi NRW Jakarta	NRW bertahan 40–45% meski SCADA dan AMI diterapkan	Bukti kesenjangan implementasi
[5]	Pratama dkk., 2024	NRW PDAM Tirta Khatulistiwa	NRW 42–47%; meter buram dan macet memicu kehilangan semu	Celah empiris; relevansi program tera meter
[6]	Grigg, 2025	Transformasi digital utilitas air	Adopsi digital bertahap; dibatasi biaya, regulasi, SDM, dan infrastruktur tua	Cermin global kondisi PDAM Salatiga
[7]	Rajan & Li, 2025	Deteksi kebocoran otomatis	Efektivitas bergantung pada kualitas data dan kalibrasi sensor	Prasyarat teknis yang belum terpenuhi
[8]	Küçükoğlu & Kabakuş, 2025	TOE di sektor teregulasi	Perubahan organisasi menjadi mekanisme kunci transformasi digital	Validasi TOE untuk organisasi teregulasi
[9]	Nagy dkk., 2025	Meta-analisis TOE	Ketiga dimensi TOE berhubungan positif dengan kinerja UKM	Dasar pemilihan kerangka TOE
[10]	Wardana & Kusuma, 2024	Divisi distribusi PDAM	Tanpa sistem digital, respons kebocoran lambat	Konteks lokal; celah empiris
[11]	Manalu dkk., 2026	Aplikasi layanan pelanggan PDAM Surabaya	Kinerja aplikasi yang lambat menjadi keluhan utama pengguna	Celah empiris: digitalisasi PDAM berfokus pada layanan pelanggan
[12]	Ascenção dkk., 2023	Sistem pengelolaan air cerdas	*Smart meter* dominan; kerangka integrasi belum tersedia	Dasar perlunya integrasi sistem
[13]	Tornatzky & Fleischer, 1990	Kerangka TOE	Adopsi inovasi organisasi dipengaruhi konteks teknologi, organisasi, dan lingkungan	Kerangka analisis utama
[14]	Kitsios dkk., 2023	Transformasi digital layanan publik	Kebijakan pemerintah pendorong utama; perlu perubahan budaya kerja	Penguat dimensi lingkungan dan organisasi
[15]	Haug dkk., 2024	Perubahan digital sektor publik	Perubahan berlangsung inkremental	Lensa membaca transisi bertahap PDAM
[16]	Angraini & Suhanda, 2023	Tata kelola PDAM	Relasi pemda, dewan pengawas, dan direksi menentukan akuntabilitas	Penguat dimensi organisasi

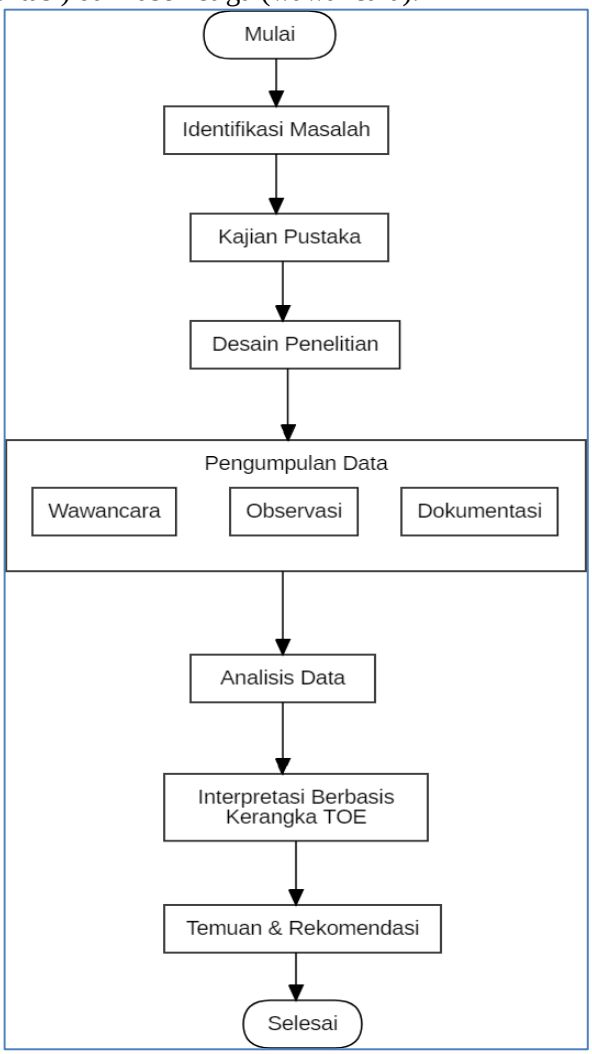
Hasil analisis literatur tersebut memperlihatkan tiga celah yang belum terjawab secara memadai. Secara teoretis, penerapan kerangka TOE secara eksplisit pada sektor utilitas air minum, khususnya dalam konteks pengendalian NRW, masih jarang ditemukan [8], [9], [14]. Secara empiris, studi transformasi digital PDAM di Indonesia [10], [11] lebih banyak berfokus pada efisiensi bisnis dan layanan pelanggan, sedangkan studi NRW di PDAM [5] umumnya berhenti pada perhitungan neraca air tanpa mengaitkan kesiapan digital dengan kondisi kehilangan air. Secara kontekstual, mayoritas riset NRW berbasis teknologi dilakukan pada skala lintas negara, di negara maju, atau di kota besar [3], [4], [6], [7] yang kondisi infrastruktur dan kapasitas SDM-nya tidak sebanding dengan PDAM kota menengah. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan kerangka TOE untuk memetakan kesenjangan pengendalian NRW di PDAM kota menengah secara simultan pada ketiga dimensi, yang dipadukan dengan evaluasi intervensi digital nyata berupa aplikasi pencatatan tera meter yang dikembangkan dan diimplementasikan langsung oleh peneliti di lokasi studi.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus tunggal (*single case study*) yang berorientasi deskriptif-interpretatif, karena fenomena transformasi digital di lingkungan PDAM tidak cukup dipahami melalui angka semata. Objek penelitian adalah Sub Bagian NRW dan SCADA PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga, dengan kerangka TOE [8], [9], [13] sebagai lensa analisis. Peneliti tidak hanya berperan sebagai pengamat, tetapi juga terlibat langsung sebagai pengembang sistem informasi berbasis web yang diimplementasikan di lokasi penelitian sebagai respons terhadap kondisi manual yang ditemukan di lapangan.

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

Penelitian berlangsung dalam tiga fase berurutan. Fase pertama, sebelum implementasi pada Mei 2026, mencakup identifikasi masalah, kajian pustaka, dan pengembangan aplikasi. Fase kedua, mulai Mei 2026, adalah implementasi aplikasi di Sub Bagian NRW dan SCADA yang disertai observasi, pengumpulan dokumen, dan pencatatan rekap data sistem, termasuk rekap tanggal 18 Mei 2026. Fase ketiga adalah wawancara mendalam yang dilakukan setelah aplikasi digunakan dalam operasional harian, sehingga informan menilai berdasarkan pengalaman penggunaan yang nyata. Alur ketujuh tahap penelitian ditunjukkan pada Gambar 1; pengumpulan data pada Tahap 4 berlangsung pada fase kedua (observasi dan dokumentasi) dan fase ketiga (wawancara).



Gambar 1. Alur penelitian.

Tahap 1, identifikasi masalah. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi kondisi nyata di lapangan, meliputi tingginya angka NRW, sistem SCADA yang masih dalam fase perintisan, dan keterbatasan kapasitas SDM dalam mengadopsi teknologi baru. Kondisi ini mencerminkan persoalan struktural yang lazim dijumpai pada PDAM kota menengah yang sedang berada dalam fase transisi dari operasi manual menuju ekosistem digital. Dari temuan awal ini dirumuskan tiga pertanyaan penelitian; dalam penelitian kualitatif, proses menemukan dan merumuskan masalah berjalan beriringan sehingga keduanya tidak diperlakukan sebagai tahapan yang terpisah.

Tahap 2, kajian pustaka. Peneliti menelaah referensi ilmiah terkini untuk membangun landasan pemahaman sekaligus memetakan posisi penelitian dalam literatur. Kajian mencakup konsep dan klasifikasi NRW, penerapan IoT dan *smart meter* pada jaringan distribusi air, transformasi digital di perusahaan air minum dan sektor publik, tata kelola organisasi publik daerah, serta validasi kerangka TOE pada sektor teregulasi.

Tahap 3, desain penelitian. Kerangka TOE berfungsi sebagai pedoman operasional yang menstrukturkan seluruh proses penelitian, mulai dari penyusunan pedoman wawancara hingga interpretasi data. Dimensi teknologi didefinisikan sebagai kesiapan perangkat dan sistem digital untuk memantau jaringan dan mencatat data NRW; dimensi organisasi sebagai kapasitas internal PDAM untuk mengadopsi dan menjalankan sistem digital secara konsisten; dan dimensi lingkungan sebagai

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

faktor di luar organisasi yang mendorong atau membatasi adopsi. Setiap dimensi dijabarkan ke dalam faktor dan indikator kondisi ideal yang disusun dari literatur dan dipertajam dengan harapan informan (Tabel 2), disertai rubrik penilaian kesenjangan (Tabel 3). Pada fase pertama, sebelum implementasi Mei 2026, peneliti juga mengembangkan aplikasi web berbasis Google Apps Script sebagai respons terhadap pencatatan tera meter yang masih manual; aplikasi ini kemudian menjadi salah satu objek evaluasi.

Tabel 2. Faktor dan indikator kondisi ideal setiap dimensi TOE.

Dimensi	Faktor	Indikator Kondisi Ideal	Sumber Data
Teknologi	Sistem SCADA	(a) membaca meter air; (b) membaca tekanan; (c) membaca pompa; (d) terintegrasi dalam satu sistem	Wawancara I1–I2, observasi
	Pencatatan tera meter	(a) input digital di lapangan; (b) rekap tersedia saat data diunggah; (c) laporan otomatis; (d) terhubung dengan aplikasi pusat	Wawancara I2–I3, data sistem
Organisasi	Dukungan pimpinan	(a) komitmen pimpinan; (b) kebijakan internal mendukung; (c) arahan dipahami hingga level operasional	Wawancara I1–I2
	Kapasitas SDM	(a) mampu mengoperasikan sistem; (b) pelatihan terstruktur; (c) unggah data tepat waktu; (d) jumlah petugas memadai	Wawancara I2–I3, data sistem
	Tata kelola dan SOP	(a) SOP pencatatan digital tersedia; (b) koordinasi lintas sub bagian cepat; (c) arahan kerja baku dan konsisten	Wawancara I2–I3, dokumen prosedur
Lingkungan	Regulasi pemerintah	(a) target NRW jelas; (b) dukungan pendanaan memadai; (c) target sesuai kapasitas infrastruktur	Wawancara I2, dokumen target
	Infrastruktur dan kondisi lapangan	(a) sinyal dan listrik stabil; (b) akses ke lokasi pelanggan lancar; (c) pelanggan menerima penggantian meter	Wawancara I3, observasi, data sistem

Tahap 4, pengumpulan data. Data dikumpulkan melalui tiga teknik yang saling melengkapi. Pertama, wawancara mendalam semi-terstruktur dengan tiga informan yang dipilih melalui teknik *purposive sampling* berdasarkan keterlibatan langsung dalam pengelolaan NRW dan operasional sistem digital, yaitu Kepala Bagian (I1), Kepala Sub Bagian NRW dan SCADA (I2), serta staf teknis lapangan (I3). Kedua, observasi langsung di ruang operasional untuk mengamati cara kerja sistem dan interaksi pegawai dengan perangkat yang ada. Ketiga, studi dokumentasi terhadap data kehilangan air tahunan perusahaan, prosedur kerja, catatan operasional, serta rekap data pada aplikasi tera meter untuk melengkapi dan mengecek kesesuaian informasi dari wawancara dan observasi. Observasi dan dokumentasi berlangsung sejak fase kedua, sedangkan wawancara dilakukan pada fase ketiga.

Tahap 5, analisis data. Data diolah menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña [17] melalui tiga proses yang berulang, yaitu reduksi data (memilah dan memfokuskan data berdasarkan relevansinya terhadap pertanyaan penelitian), penyajian data (menyusun data ke dalam matriks tematik berbasis tiga dimensi TOE), serta penarikan dan verifikasi kesimpulan hingga temuan jenuh. Keabsahan data dijaga melalui triangulasi sumber dengan membandingkan informasi dari wawancara, observasi, dan dokumen, serta *member checking* dengan mengembalikan hasil analisis kepada informan.

Peran ganda peneliti sebagai pengembang aplikasi merupakan sumber bias yang diakui secara eksplisit dalam penelitian ini. Informan, terutama I3, mempelajari sistem melalui pendampingan dari pengembang yang sama, sehingga berpotensi memberikan jawaban yang cenderung positif karena rasa sungkan (*social desirability bias*). Untuk mengurangi bias tersebut, ditempuh dua langkah. Pertama, klaim manfaat aplikasi hanya diterima apabila didukung data sistem atau dokumen, bukan pernyataan informan semata. Kedua, temuan negatif tentang aplikasi, seperti belum terhubungnya sistem dengan aplikasi pusat dan unggahan data yang tertunda, dilaporkan secara utuh. Wawancara tidak dilakukan oleh pihak independen, sehingga bias ini tidak dapat dihilangkan sepenuhnya dan diperlakukan sebagai keterbatasan penelitian.

Tahap 6, interpretasi berbasis kerangka TOE. Kondisi aktual setiap faktor dibandingkan dengan indikator kondisi ideal pada Tabel 2. Indikator dan rubrik ditetapkan pada tahap desain, sebelum penilaian dilakukan, dan setiap indikator diberi bobot yang sama. Setiap indikator dinilai

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

terpenuhi (1), terpenuhi sebagian (0,5), atau belum terpenuhi (0) berdasarkan bukti triangulasi, lalu proporsi indikator yang terpenuhi dikonversi menjadi skor kesenjangan 1–5 menurut rubrik pada Tabel 3. Status faktor, yaitu pendukung, penghambat, atau campuran, ditetapkan secara terpisah berdasarkan arah pengaruhnya terhadap adopsi teknologi menurut keterangan informan dan data, sehingga skor kesenjangan dan status tidak saling menentukan. Temuan pada setiap dimensi kemudian dikaitkan dengan literatur, yaitu kesiapan infrastruktur dan kualitas data untuk dimensi teknologi [7], [12], kapasitas SDM, kepemimpinan, dan tata kelola untuk dimensi organisasi [8], [16], serta kebijakan dan kondisi eksternal untuk dimensi lingkungan [8], [9], [14].

Tabel 3. Rubrik skor kesenjangan.

Skor	Kategori Kesenjangan	Proporsi Indikator Ideal yang Terpenuhi
1	Sangat rendah	≥ 80%
2	Rendah	60–79%
3	Sedang	40–59%
4	Tinggi	20–39%
5	Sangat tinggi	< 20%

Tahap 7, temuan dan rekomendasi strategis. Tahap penutup menghasilkan matriks kesenjangan serta pemetaan faktor pendukung dan penghambat adopsi teknologi digital, beserta rekomendasi strategis yang praktis dan kontekstual, termasuk evaluasi aplikasi digitalisasi pencatatan hasil tera meter yang diimplementasikan sejak Mei 2026 sebagai intervensi terhadap komponen kehilangan semu (*apparent losses*).

4 Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan temuan lapangan dari wawancara dengan tiga informan kunci (I1–I3), yang diperkuat dengan observasi di ruang operasional, telaah dokumen resmi, dan rekap data aplikasi tera meter. Struktur pembahasan mengikuti tahapan metode: kondisi aktual NRW sebagai hasil identifikasi masalah (subbab 4.1), interpretasi pada tiga dimensi TOE (subbab 4.2–4.4), matriks kesenjangan (subbab 4.5), serta sintesis dan rekomendasi strategis (subbab 4.6).

4.1 Kondisi Aktual *Non-Revenue Water* PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga

Sebelum masuk ke analisis TOE, posisi NRW PDAM Salatiga perlu dipahami sebagai konteks yang melatarbelakangi urgensi transformasi digital. Berdasarkan keterangan I1, kehilangan air saat ini berada di kisaran 27%, angka yang oleh informan sendiri dinyatakan masih menjadi masalah serius. I2 juga menyatakan bahwa tren kehilangan air masih berfluktuasi selama beberapa tahun terakhir. Untuk triangulasi, keterangan tersebut dibandingkan dengan data kehilangan air tahunan perusahaan pada Tabel 4; kolom air hilang merupakan selisih antara air yang didistribusikan dan air yang terjual.

Tabel 4. Data kehilangan air PDAM tirta dharma kota salatiga tahun 2023–2025.

Tahun	Air Didistribusikan (m^3)	Air Terjual (m^3)	Air Hilang (m^3)	NRW (%)
2023	10.927.429	8.449.088,1	2.478.340,9	22,68
2024	11.379.820	8.718.863	2.660.957	23,38
2025	11.827.481	8.546.723	3.280.758	27,74

Data pada Tabel 4 mengonfirmasi keterangan I1: NRW tahun 2025 tercatat 27,74% dan meningkat secara konsisten dari 22,68% pada 2023 dan 23,38% pada 2024. Selama 2023–2025, volume air yang didistribusikan naik 8,24%, sedangkan volume air terjual pada 2025 justru turun 1,97% dibandingkan 2024, sehingga volume air hilang meningkat 32,38%, dari 2.478.340,9 m^3 menjadi 3.280.758 m^3. Keterangan I2 bahwa kehilangan air berfluktuasi dapat merujuk pada variasi bulanan yang tidak tercakup dalam data tahunan ini.

Data perusahaan belum memisahkan kehilangan fisik dan kehilangan semu, sehingga kenaikan NRW tersebut belum dapat diatribusikan pada salah satu komponen. Karena aplikasi pencatatan tera meter baru diterapkan pada Mei 2026, data 2023–2025 berfungsi sebagai kondisi awal (*baseline*) sebelum implementasi, sedangkan data tahun 2026 belum tersedia.

Penyebab tingginya NRW bersifat berlapis. I1 mengidentifikasi empat faktor utama, yaitu usia

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

pipa yang sudah tua, kerusakan jaringan akibat aktivitas pembangunan fisik kota, sambungan ilegal atau pencurian air, serta ketidakakuratan meter pelanggan. Faktor terakhir inilah yang menjadi latar belakang program tera meter yang tengah berjalan di Sub Bagian NRW dan SCADA. I2 menyatakan bahwa penurunan NRW mulai terlihat dari pemantauan harian saat ini, tetapi klaim tersebut belum dapat dikonfirmasi karena data tahun 2026 belum tersedia. Menurut I2, akurasi meter pelanggan dan kebocoran pipa distribusi tetap menjadi dua komponen yang paling dominan. Pola ini serupa dengan temuan Pratama dkk. [5] di PDAM Tirta Khatulistiwa, di mana kehilangan fisik dan kehilangan semu akibat meter yang tidak andal muncul bersamaan.

4.2 Dimensi Teknologi: Kesiapan Infrastruktur dan Sistem Digital

4.2.1 Sistem SCADA: Antara Potensi dan Keterbatasan Teknis

Dari sisi teknologi, PDAM Tirta Dharma Salatiga telah memulai perintisan sistem SCADA sebagai fondasi pemantauan jaringan distribusi secara digital, namun kondisi eksistingnya masih jauh dari ideal. I1 menggambarkan keterbatasan mendasar tersebut sebagai berikut.

> *"SCADA kita belum terintegrasi. Artinya, mestinya SCADA itu dari hulu ke hilir sudah terbaca semua oleh sistem. Saat ini kita belum terintegrasi, baru water meter yang bisa kita baca, sedangkan untuk tekanan atau pompa belum terbaca." (I1)*

Pernyataan tersebut sekaligus menggambarkan kondisi ideal yang diharapkan, yaitu SCADA yang membaca seluruh parameter jaringan dari hulu ke hilir, dan kondisi aktual yang baru mencakup pembacaan meter air. I2 memperkuat gambaran ini dengan menyatakan bahwa SCADA masih dalam tahap pengembangan dan masing-masing aplikasi belum terintegrasi ke dalam satu sistem terpadu. Fragmentasi ini, di mana berbagai aplikasi beroperasi terpisah tanpa satu pintu data, menjadi hambatan teknologi paling mendasar. Temuan ini sejalan dengan Rajan dan Li [7] bahwa efektivitas teknologi deteksi kebocoran bergantung pada kualitas data dan konsistensi sistem yang terintegrasi, serta dengan Ascenção dkk. [12] yang menyoroti belum tersedianya kerangka integrasi antaraplikasi dalam pengelolaan air cerdas.

4.2.2 Digitalisasi Pencatatan Tera Meter: Pergeseran Nyata dari Manual ke Digital

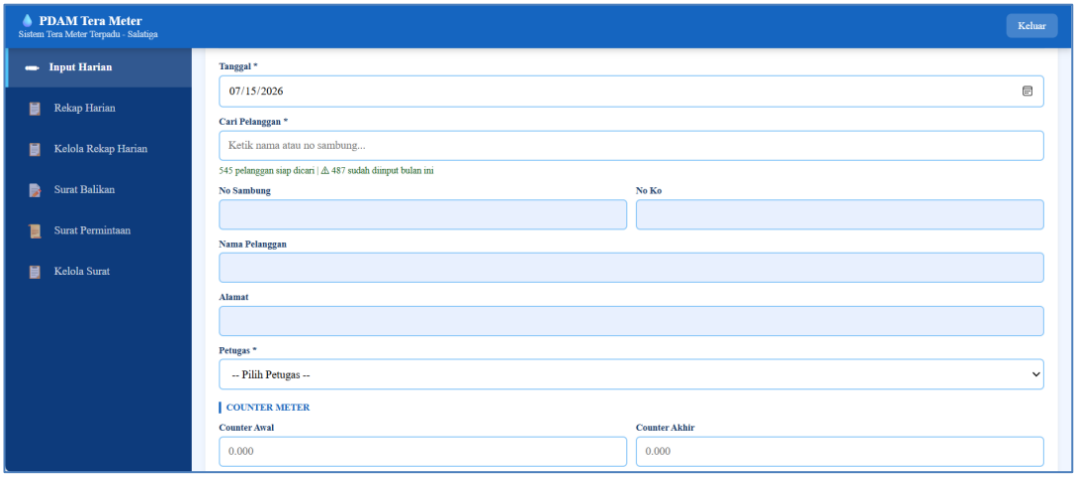
Di luar SCADA, perubahan teknologi yang paling dirasakan oleh petugas lapangan adalah hadirnya sistem digital untuk pencatatan dan pelaporan hasil tera meter. Sebelumnya, seluruh alur kerja berlangsung secara manual, sebagaimana dideskripsikan I3 berikut.

> *"Pakai kertas, foto tera pakai aplikasi Timemark, kemudian kalau sudah pulang dari lapangan, petugas lapangan melakukan input hasil tera ke Word dan itu membutuhkan waktu satu setengah jam." (I3)*

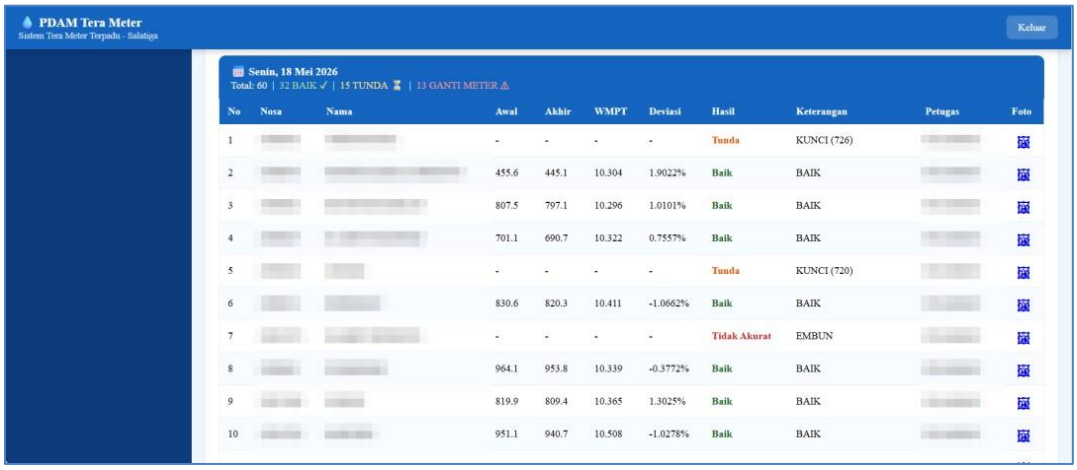
I2 mengonfirmasi bahwa blangko kertas harus diketik ulang oleh admin ke Excel dengan waktu rekap hingga dua sampai tiga hari, disertai masalah tulisan sulit dibaca, blangko basah, dan data tertinggal (Tabel 5).

Sebagai respons terhadap kondisi tersebut, peneliti mengembangkan aplikasi web berbasis Google Apps Script yang diimplementasikan di Sub Bagian NRW dan SCADA sejak Mei 2026. Sistem ini menyediakan pengisian data pelanggan secara otomatis (*auto-fill* nama, nomor sambungan, nomor kontrak, dan alamat), kalkulasi deviasi secara langsung, unggah foto meter dari lapangan, pengarsipan hasil dalam format PDF, serta *dashboard* pemantauan progres harian secara *real time*. Gambar 2 menampilkan formulir input harian yang menggantikan blangko kertas, Gambar 3 menampilkan *dashboard* rekapitulasi berisi status pengujian, nilai deviasi, dan foto meter, sedangkan Gambar 4 memperlihatkan laporan otomatis berformat PDF yang menjadi arsip operasional resmi Sub Bagian NRW dan SCADA. Data identitas pelanggan dan petugas pada Gambar 3 dan Gambar 4 telah disamarkan untuk menjaga kerahasiaan.

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719



Gambar 2. Antarmuka input data tera meter.



Gambar 3. Dashboard rekap harian tera meter.



Gambar 4. Laporan Tera Meter Format PDF.

Perbandingan proses pencatatan sebelum dan sesudah penerapan aplikasi, yang disusun dari

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

keterangan I2 dan I3 serta observasi, dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan proses pencatatan tera meter sebelum dan sesudah digitalisasi.

Aspek	Sebelum (Manual)	Sesudah (Aplikasi Web)
Media pencatatan	Blangko kertas dan foto terpisah di aplikasi kamera	Formulir digital dengan unggah foto meter
Data pelanggan	Ditulis tangan di lapangan	Terisi otomatis (nama, nomor sambungan, kontrak, alamat)
Perhitungan deviasi	Dihitung manual	Terhitung otomatis saat data dimasukkan
Waktu input dan rekap	±1,5 jam input ke Word per petugas; rekap admin 2–3 hari	Data tersedia saat diunggah (*real time*)
Risiko kesalahan	Tulisan sulit dibaca, blangko basah, data tertinggal, verifikasi ulang ke lokasi	Kesalahan input berkurang; foto menjadi bukti pengujian
Pengawasan dan pelaporan	Menunggu rekap; laporan diketik ulang	*Dashboard* harian dan laporan PDF otomatis

Rekap data pada sistem memberikan bukti awal pemanfaatannya. Rekap tanggal 18 Mei 2026 (Gambar 3 dan Gambar 4) mencatat 60 surat perintah kerja (SPK) tera meter, terdiri atas 32 meter berkondisi baik atau akurat, 13 meter yang harus diganti, dan 15 pekerjaan tertunda. Hasil tersebut berasal dari pengujian fisik oleh petugas di lapangan dan akan diperoleh dengan atau tanpa aplikasi; perbedaannya, melalui aplikasi hasil pengujian langsung terekap dan dapat dilihat supervisor pada hari yang sama, bukan dua hingga tiga hari kemudian. Sementara itu, formulir input per 15 Juli 2026 (Gambar 2) menunjukkan bahwa 487 dari 545 data pelanggan yang tersedia di sistem (89,4%) telah diinput pada bulan berjalan. Angka ini merupakan potret satu hari dan satu bulan sehingga belum dapat digeneralisasi, tetapi memperlihatkan bahwa sistem telah dipakai secara rutin dan menghasilkan data yang langsung dapat dianalisis.

I2 menilai pengawasan kini jauh lebih mudah, akurasi meningkat, dan pelaporan lebih cepat, sedangkan I3 menyatakan pekerjaan input yang sebelumnya hampir dua jam kini jauh lebih efisien. Perlu ditegaskan bahwa aplikasi ini tidak menemukan meter yang rusak; kontribusinya terletak pada percepatan dan ketertelusuran data hasil pengujian, sehingga meter tidak layak, yang oleh Santos [1] dan Pratama dkk. [5] diidentifikasi sebagai sumber kehilangan semu, dapat lebih cepat ditindaklanjuti. Dampak aplikasi terhadap angka NRW belum dapat disimpulkan karena data NRW tahun 2026, setelah implementasi, belum tersedia untuk dibandingkan dengan data awal pada Tabel 4.

Meski demikian, sistem ini belum sepenuhnya menutup celah integrasi. I3 berharap hasil tera meter kelak dapat langsung terhubung dengan aplikasi pusat yang digunakan seluruh sub bagian. Kondisi ini sejalan dengan temuan Grigg [6] bahwa sistem digital baru di utilitas air harus disambungkan secara bertahap dengan sistem lama, sehingga adopsi satu komponen digital saja tidak cukup tanpa ekosistem integrasi yang menyeluruh.

4.3 Dimensi Organisasi: Kapasitas SDM, Kepemimpinan, dan Tata Kelola

4.3.1 Dukungan Pimpinan dan Arah Kebijakan Internal

Dari dimensi organisasi, komitmen pimpinan terhadap transformasi digital terlihat jelas dan konsisten. I1 menempatkan kebijakan sebagai faktor yang paling berpengaruh dalam menentukan keberhasilan adopsi teknologi.

> *"Pengaruh paling besar itu kebijakan, karena kita mau menggunakan teknologi seperti apa pun, kalau kebijakannya tidak mendukung ya tetap akan stagnan." (I1)*

Pandangan ini sejalan dengan Küçükoğlu dan Kabakuş [8] yang menemukan bahwa pada sektor teregulasi, kesiapan dan perubahan organisasi menjadi mekanisme kunci keberhasilan transformasi digital, bukan investasi teknologi semata. I2 menambahkan bahwa meskipun pimpinan sangat mendukung digitalisasi, tantangan muncul ketika arahan diturunkan ke level operasional, karena staf menghadapi hal yang sepenuhnya baru. Untuk menyiasatinya, I2 memilih pendekatan pendampingan langsung di lapangan alih-alih hanya mengandalkan rapat formal. Temuan ini sejalan dengan Angraini dan Suhanda [16] yang menunjukkan bahwa dalam tata kelola PDAM, arah kebijakan ditentukan oleh jenjang pimpinan dan pengawas, sehingga cara pimpinan menurunkan arahan ke level operasional ikut menentukan berjalannya perubahan.

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

4.3.2 Kapasitas SDM: Antara Antusiasme dan Kebiasaan yang Mengakar

Kesiapan SDM merupakan aspek organisasional yang paling dinamis. I2 mencatat bahwa staf pada umumnya antusias karena sistem digital terbukti mempermudah pekerjaan. I3 mengonfirmas bahwa meskipun sempat bingung saat pertama kali menggunakan sistem baru, kemampuan penggunaan dapat dikuasai dalam waktu singkat setelah mendapat pendampingan dari pengembang, bahkan tanpa pelatihan formal bersertifikat. Namun, hambatan terbesar justru datang dari kebiasaan kerja yang sudah mengakar, sebagaimana diungkapkan I2 berikut.

> *"Hambatan terbesarnya datang dari dalam, yaitu kebiasaan pekerja. Mengubah kebiasaan dari sistem manual yang santai ke sistem digital yang real-time itu butuh waktu." (I2)*

Contoh konkretnya adalah staf yang sudah cepat menyelesaikan pekerjaan tera meter di lapangan, tetapi kerap lupa mendokumentasikan atau tidak segera mengunggah hasilnya, sehingga laporan di sistem tertunda. I3 pun mengakui bahwa dirinya terkadang menunda pekerjaan. Hambatan perilaku semacam ini lebih sulit diatasi dibanding hambatan teknis karena menyangkut perubahan pola pikir yang membutuhkan waktu dan konsistensi pengawasan. Temuan ini selaras dengan Kitsios dkk. [14] yang menekankan bahwa manfaat digitalisasi sektor publik baru tercapai setelah terjadi pergeseran budaya kerja, serta dengan Haug dkk. [15] yang menggambarkan perubahan digital di organisasi publik sebagai proses inkremental.

Dari sisi pengembangan kapasitas formal, I2 menyatakan bahwa dukungan manajemen idealnya tidak hanya berfokus pada pembelian alat dan perbaikan infrastruktur fisik, tetapi juga dialokasikan untuk pelatihan rutin staf dan pengembangan sistem. Hal ini berkorelasi dengan pengalaman I3 yang mengenal sistem baru melalui pendampingan pengembang tanpa pelatihan terstruktur, yang menunjukkan bahwa kebutuhan pelatihan sesuai kerja nyata di lapangan belum sepenuhnya terpenuhi.

4.3.3 Tata Kelola: Struktur yang Masih dalam Proses Pembentukan

Sub Bagian NRW dan SCADA merupakan unit yang terbilang baru dalam struktur organisasi PDAM Salatiga. I2 yang baru menjabat tujuh bulan mengungkapkan bahwa prosedur operasional baku (SOP) untuk pencatatan dan pelaporan data masih dalam tahap penyusunan, sehingga operasional harian berjalan tanpa panduan yang terstandarisasi. I3 mengonfirmasi bahwa arahan dari kantor memang ada di awal, namun seiring waktu petugas lebih sering bekerja secara mandiri berdasarkan pengalaman.

Dari sisi koordinasi lintas sub bagian, respons terhadap masalah lapangan relatif cepat jika berada dalam sub bagian yang sama, tetapi menjadi lambat ketika melibatkan sub bagian lain. Fragmentasi koordinasi ini memperlambat siklus penanganan masalah dan berpotensi memperbesar volume kehilangan air sebelum perbaikan dilakukan, selaras dengan temuan Wardana dan Kusuma [10]. Kasus Jakarta [4] menunjukkan bahwa tanpa rutinitas organisasi yang mapan, investasi digital pun belum mampu menurunkan NRW secara berkelanjutan, sehingga pembenahan tata kelola menjadi prasyarat yang tidak dapat ditunda.

4.4 Dimensi Lingkungan: Kebijakan Eksternal dan Kondisi Infrastruktur

4.4.1 Tekanan Regulasi dan Target Pemerintah

Dari dimensi lingkungan eksternal, tekanan regulasi dari Kementerian Pekerjaan Umum (PU), yang sejak Oktober 2024 membawahi urusan air minum setelah pemisahan Kementerian PUPR, menjadi faktor pendorong yang paling terasa. I2 menggambarkan pengaruhnya yang bersifat ganda.

> *"Di satu sisi ini sangat membantu sebagai motivasi agar perusahaan lebih disiplin dan serius membenahi sistem. Tapi di sisi lain, karena keterbatasan anggaran dan infrastruktur eksisting yang sudah tua, mengejar target tersebut terasa menjadi beban operasional yang cukup berat." (I2)*

Tekanan tersebut telah diterjemahkan ke dalam target operasional yang konkret berupa penurunan NRW secara bertahap setiap tahun. Interaksi antara tekanan regulasi eksternal dan keterbatasan kapasitas internal ini mencerminkan dinamika dimensi lingkungan dan organisasi yang bersama-sama membentuk arah transformasi digital, sebagaimana diidentifikasi Küçükoğlu dan Kabakuş [8] pada organisasi teregulasi dan Kitsios dkk. [14] pada layanan publik.

4.4.2 Kondisi Infrastruktur dan Lingkungan Fisik Lapangan

Secara umum, sinyal internet dan ketersediaan listrik di wilayah Salatiga cukup mendukung penggunaan perangkat digital di lapangan. Namun, terdapat titik bermasalah, terutama di area

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

Senjoyo, di mana komunikasi *logger* meter air digital kadang mengalami gangguan koneksi. I3 menambahkan bahwa gangguan sinyal di beberapa area dan pemadaman listrik dari PLN menyebabkan pekerjaan terpaksa digeser ke hari berikutnya.

Kondisi fisik lapangan juga menghadirkan hambatan nonteknis. Akses ke rumah pelanggan terkadang terhambat oleh situasi sosial, seperti adanya anggota keluarga yang meninggal atau keberadaan anjing penjaga, sehingga kunjungan ditunda hingga beberapa bulan. Keterangan ini terkonfirmasi oleh data sistem: pada rekap 18 Mei 2026 terdapat pekerjaan berstatus tunda dengan keterangan rumah terkunci (Gambar 3). Resistensi sebagian pelanggan yang menolak penggantian meter meskipun umur teknisnya sudah melampaui batas, karena khawatir tagihan melonjak, juga tidak dapat diselesaikan semata-mata dengan solusi teknologi. Hambatan ini menegaskan bahwa dimensi lingkungan dalam kerangka TOE tidak hanya mencakup kebijakan formal, tetapi juga kondisi sosial dan fisik tempat teknologi beroperasi.

4.5 Matriks Kesenjangan Berbasis Kerangka TOE

Untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama dan kedua, kondisi aktual setiap faktor dinilai terhadap indikator kondisi ideal pada Tabel 2 menggunakan rubrik pada Tabel 3. Hasil penilaian dirangkum dalam matriks kesenjangan pada Tabel 6.

Tabel 6. Matriks kesenjangan berbasis kerangka TOE.

Dimensi	Faktor	Kondisi Aktual per Indikator	Terpenuhi	Skor	Status
Teknologi	Sistem SCADA	(a) terpenuhi; (b), (c), (d) belum: tekanan dan pompa belum terbaca, aplikasi belum terintegrasi	1/4 (25%)	4	Penghambat
	Pencatatan tera meter	(a), (b), (c) terpenuhi sejak Mei 2026; (d) belum terhubung dengan aplikasi pusat	3/4 (75%)	2	Pendukung
Organisasi	Dukungan pimpinan	(a), (b) terpenuhi; (c) sebagian: staf masih bingung saat arahan diturunkan	2,5/3 (83%)	1	Pendukung
	Kapasitas SDM	(a) terpenuhi; (c) sebagian: unggahan kerap tertunda; (b) belum ada pelatihan terstruktur; (d) usulan penambahan petugas belum disetujui	1,5/4 (38%)	4	Campuran
	Tata kelola dan SOP	(c) sebagian: arahan ada di awal, lalu petugas bekerja mandiri; (a) SOP masih disusun; (b) koordinasi lintas sub bagian lambat	0,5/3 (17%)	5	Penghambat
Lingkungan	Regulasi pemerintah	(a) terpenuhi; (b) anggaran terbatas; (c) infrastruktur tua membuat target terasa berat	1/3 (33%)	4	Campuran
	Infrastruktur dan kondisi lapangan	(a), (b), (c) sebagian: sinyal lemah di Senjoyo dan pemadaman listrik, rumah terkunci, sebagian pelanggan menolak penggantian meter	1,5/3 (50%)	3	Campuran

Penilaian tersebut menunjukkan kesenjangan sangat tinggi pada tata kelola dan SOP (skor 5); tinggi pada sistem SCADA, kapasitas SDM, dan dukungan regulasi (skor 4); sedang pada infrastruktur dan kondisi lapangan (skor 3); rendah pada pencatatan tera meter (skor 2); serta sangat rendah pada dukungan pimpinan (skor 1). Pemisahan skor dan status memperlihatkan bahwa faktor berstatus campuran tidak selalu berkesenjangan sedang: kapasitas SDM dan regulasi berpengaruh ganda, tetapi jaraknya dari kondisi ideal tergolong tinggi. Skor ini merupakan penilaian kualitatif peneliti berdasarkan bukti triangulasi, sehingga menunjukkan urutan prioritas relatif, bukan ukuran statistik.

4.6 Sintesis Temuan dan Rekomendasi Strategis

Berdasarkan matriks kesenjangan, empat rekomendasi strategis dirumuskan sebagai berikut.

Pertama, percepatan integrasi SCADA ke dalam satu platform terpadu. Alokasi anggaran perlu diikuti peta jalan integrasi yang menghubungkan sistem tera meter, SCADA, dan sistem informasi pelanggan pusat dalam satu ekosistem data.

 ISSN:2302-8149
e-ISSN:2540-9719

Kedua, formalisasi SOP pencatatan dan pelaporan digital. Mengingat Sub Bagian NRW dan SCADA merupakan unit baru, formalisasi prosedur kerja berbasis sistem digital harus menjadi prioritas. SOP perlu mencakup standar waktu pengunggahan data, prosedur penanganan gangguan sinyal di lapangan, prosedur penjadwalan ulang pekerjaan tertunda, dan mekanisme eskalasi jika data tidak terinput sesuai jadwal.

Ketiga, penguatan pelatihan yang berfokus pada perubahan perilaku. Hambatan terbesar bukan pada kemampuan teknis, melainkan pada kebiasaan kerja yang masih condong ke pola manual, sehingga pelatihan perlu dilengkapi pendampingan berkala dan penguatan budaya akuntabilitas data. Usulan penambahan petugas lapangan yang belum disetujui manajemen juga perlu dipertimbangkan.

Keempat, optimalisasi dan perluasan sistem pencatatan tera meter digital sebagai fondasi integrasi. Sistem yang dinilai informan meningkatkan efisiensi kerja dan akurasi data dapat menjadi jembatan menuju integrasi yang lebih luas dengan menghubungkannya ke aplikasi pusat, sehingga data hasil tera meter, termasuk daftar meter yang harus diganti, dapat langsung ditindaklanjuti oleh sub bagian terkait.

Dibandingkan penelitian sebelumnya, keunikan penelitian ini terletak pada dua hal. Pertama, berbeda dari studi NRW di PDAM yang berfokus pada perhitungan neraca air [5] atau studi digitalisasi PDAM yang berfokus pada efisiensi bisnis dan layanan pelanggan [10], [11], penelitian ini memetakan kesenjangan pengendalian NRW secara simultan pada dimensi teknologi, organisasi, dan lingkungan. Kedua, berbeda dari studi di kota besar [4] yang mengevaluasi infrastruktur digital berskala besar, penelitian ini menunjukkan bahwa digitalisasi sederhana dan berbiaya rendah pada pencatatan hasil tera meter dapat mempercepat tindak lanjut terhadap komponen kehilangan semu di PDAM kota menengah, sekaligus menjadi titik awal integrasi sistem yang lebih luas.

5 Kesimpulan

Penelitian ini menganalisis kesenjangan pengendalian *Non-Revenue Water* di PDAM Tirta Dharma Kota Salatiga melalui kerangka TOE dengan rubrik skor kesenjangan 1–5. Data perusahaan menunjukkan NRW meningkat dari 22,68% pada 2023 menjadi 27,74% pada 2025, sehingga penutupan kesenjangan pengendalian NRW bersifat mendesak. Kesenjangan sangat tinggi terdapat pada tata kelola dan SOP, disusul kesenjangan tinggi pada integrasi SCADA, kapasitas SDM, dan dukungan regulasi. Dukungan pimpinan dan aplikasi pencatatan tera meter menjadi faktor pendukung dengan kesenjangan sangat rendah dan rendah; aplikasi tersebut mempercepat tersedianya hasil pengujian fisik meter, termasuk meter tidak layak yang perlu diganti, meskipun dampaknya terhadap angka NRW belum terukur. Integrasi SCADA dalam satu platform, formalisasi SOP digital, pelatihan berbasis perubahan perilaku, dan perluasan sistem tera meter digital merupakan langkah yang saling melengkapi untuk menjawab kesenjangan tersebut.

Secara teoretis, temuan ini memberikan tiga implikasi bagi kerangka TOE. Pertama, pada organisasi publik yang teregulasi, dimensi organisasi, khususnya tata kelola dan prosedur kerja, menjadi penentu apakah teknologi yang sudah tersedia benar-benar digunakan. Kedua, dimensi lingkungan dapat bekerja secara ganda, karena regulasi yang sama menjadi pendorong sekaligus beban, sehingga analisis TOE perlu memisahkan arah pengaruh dari besarnya kesenjangan. Ketiga, pada utilitas kota menengah, adopsi teknologi dapat dimulai dari satu proses berbiaya rendah, sehingga TOE sebaiknya juga diterapkan pada tingkat proses, bukan hanya pada tingkat organisasi secara keseluruhan.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Jumlah informan terbatas pada tiga orang dalam desain studi kasus tunggal. Peran ganda peneliti sebagai pengembang aplikasi berpotensi menimbulkan bias kesantunan pada informan, dan wawancara tidak dilakukan oleh pihak independen. Selain itu, data NRW perusahaan belum memisahkan kehilangan fisik dan kehilangan semu, dan data NRW setelah implementasi aplikasi pada tahun 2026 belum tersedia, sehingga dampaknya terhadap penurunan kehilangan air belum dapat diukur; periode pengamatan juga masih relatif singkat. Penelitian selanjutnya disarankan membandingkan data NRW tahun 2026 dan tahun-tahun berikutnya dengan data awal 2023–2025, termasuk pemisahan kehilangan fisik dan semu, menggunakan pewawancara independen, serta melibatkan informan lintas sub bagian dan PDAM kota menengah lainnya.

Referensi

[1] E. Santos, "*Beyond Leakage: Non-Revenue Water Loss and Economic Sustainability*," *Urban Science*, Vol. 8, No. 4, Art. No. 194, 2024, DOI: 10.3390/urbansci8040194.

[2] E. Farah and I. Shahrour, "*Water Leak Detection: A Comprehensive Review of Methods, Challenges, and Future Directions*," *Water*, Vol. 16, No. 20, Art. No. 2975, 2024, DOI: 10.3390/w16202975.
[3] P. O. Obunga, S. S. Rwanga, and M. O. Dinka, "*Comparative Analysis on Deployment of Internet of Things in Management of Non-Revenue Water in Water Distribution Networks*," *Digital Water*, Vol. 3, No. 1, pp. 1–30, 2025, DOI: 10.1080/28375807.2025.2517573.
[4] R. Wirahadikusumah, M. A. Viqolbi, and H. Kardhana, "*Governance, Financing, and Digitalisation to Reduce Non-Revenue Water (NRW): Adoption and Strategies (Case Study: Jakarta)*," in *Proceedings of the International Sustainable Energy Conference*, Vol. 2, 2026, DOI: 10.52825/isec.v2i.3267.
[5] S. Pratama, R. Purnaini, and U. Kadaria, "*Studi Kehilangan Air pada Sistem Distribusi PDAM Tirta Khatulistiwa dengan Metode Water Balance*," *Jurnal Konstruksia*, Vol. 16, No. 1, pp. 11–23, 2024, DOI: 10.24853/jk.16.1.11-23.
[6] N. S. Grigg, "*Digital Transformation in Water Utilities: Status, Challenges, and Prospects*," *Smart Cities*, Vol. 8, No. 3, Art. No. 99, 2025, DOI: 10.3390/smartcities8030099.
[7] G. Rajan and S. Li, "*A Systematic Literature Review on Flow Data-based Techniques for Automated Leak Management in Water Distribution Systems*," *Smart Cities*, Vol. 8, No. 3, Art. No. 78, 2025, DOI: 10.3390/smartcities8030078.
[8] U. Küçükoğlu and A. K. Kabakuş, "*Revisiting the Technology–Organization–Environment Framework: Disruptive Technologies as Catalysts of Digital Transformation in the Turkish Banking Sector*," *Sustainability*, Vol. 17, No. 23, Art. No. 10787, 2025, DOI: 10.3390/su172310787.
[9] A. Nagy, J. Tumiwa, F. Arie, E. László, A. R. Alsoud, and M. Al-Dalahmeh, "*A Meta-Analysis of the Impact of TOE Adoption on Smart Agriculture SMEs Performance*," *PLOS ONE*, Vol. 20, No. 2, pp. 1–23, 2025, DOI: 10.1371/journal.pone.0310105.
[10] J. R. Wardana and Y. B. Kusuma, "Optimalisasi Divisi Transmisi dan Distribusi Utama PDAM dalam Perspektif Administrasi Bisnis," *Jurnal Media Akademik*, Vol. 2, No. 12, 2024. [Online]. Available: https://jurnal.mediaakademik.com/index.php/jma/article/view/1268
[11] K. A. C. Manalu, M. F. W. Rahman, M. F. D. Syahputra, and R. Dhenabayu, "*Usability Evaluation of Customer Information System Application Interface Design using System Usability Scale (SUS) Method*," *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, Vol. 10, No. 2, pp. 544–554, 2026, DOI: 10.29103/sisfo.v10i2.28340.
[12] É. S. Ascenção, F. M. Marinangelo, C. F. M. Almeida, N. Kagan, and E. M. Dias, "*Applications of Smart Water Management Systems: A Literature Review*," *Water*, Vol. 15, No. 19, Art. No. 3492, 2023, DOI: 10.3390/w15193492.
[13] L. G. Tornatzky and M. Fleischer, *The Processes of Technological Innovation*. Lexington, MA, USA: Lexington Books, 1990.
[14] F. Kitsios, M. Kamariotou, and A. Mavromatis, "*Drivers and Outcomes of Digital Transformation: The Case of Public Sector Services*," *Information*, Vol. 14, No. 1, Art. No. 43, 2023, DOI: 10.3390/info14010043.
[15] N. Haug, S. Dan, and I. Mergel, "*Digitally-Induced Change in the Public Sector: A Systematic Review and Research Agenda*," *Public Management Review*, Vol. 26, No. 7, pp. 1963–1987, 2024, DOI: 10.1080/14719037.2023.2234917.
[16] A. S. Angraini and Suhanda, "Tata Kelola Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Lima Puluh Kota," *Owner: Riset dan Jurnal Akuntansi*, Vol. 7, No. 2, pp. 1720–1731, 2023, DOI:10.33395/owner.v7i2.1305.
[17] M. B. Miles, A. M. Huberman, and J. Saldaña, *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*, 4th ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2020.