
Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

Ramdhan Purnama, Franciskus Antonius Alijoyo

STIMIK LIKMI, Indonesia

Email: ramdhanp11@gmail.com franciskus.antonius.alijoyo63@gmail.com

Abstrak

Air Tak Berekening (ATR) masih menjadi isu strategis nasional karena berdampak langsung terhadap kualitas pelayanan, operasional, hingga pendapatan di PDAM. Perumdam Tirta Raharja menghadapi permasalahan yang sama dengan angka Air Tak Berekening (ATR) sebesar 27,16% pada kinerja tahun 2023 dan masih perlu terus diturunkan agar menjadi 25% sesuai target RPJMN 2025-2029. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi pengendalian Air Tak Berekening (ATR) melalui integrasi teknologi dengan pendekatan Lean Six Sigma dan Total Quality Management (TQM). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif evaluatif dengan pendekatan gap analysis, yang difokuskan pada identifikasi kesenjangan antara target ideal dan kondisi aktual di lapangan. Metodologi ini juga diperkuat dengan kerangka kerja DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) sebagai dasar perbaikan proses, serta prinsip-prinsip Total Quality Management (TQM) yang bertujuan memperkuat budaya mutu organisasi sebagai penggerak utama dalam optimalisasi penggunaan teknologi. Hasil studi menunjukkan bahwa upaya pembentukan District Metered Area (DMA) belum dapat dijadikan solusi mutlak dalam pengendalian ATR karena masih terdapat beberapa zona distribusi yang belum dilakukan pemantauan untuk mengidentifikasi zona prioritas ATR. Selain itu, sistem manajemen alarm berbasis teknologi yang telah dikembangkan belum sepenuhnya juga dioptimalkan sebagai alat mitigasi dan respons dini terhadap potensi kehilangan air. Padahal, sistem ini dirancang untuk memperkuat budaya kerja responsif terhadap kondisi operasional di lapangan. Oleh karena itu, integrasi antara pendekatan DMAIC dan penguatan budaya mutu menjadi elemen penting dalam mendukung pencapaian target kinerja utama (KPI) perusahaan. Penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi organisasi dalam merancang dan menerapkan pengendalian ATR yang lebih efektif di lingkungan Perumdam Tirta Raharja.

Kata Kunci: Air Tak Berekening, Lean Six Sigma, Total Quality Management, DMAIC, Teknologi SCADA-IoT-GIS, Pengendalian Kehilangan Air, PDAM

Abstract

Non-Revenue Water (NRW) remains a strategic national issue, as it directly impacts service quality, operational efficiency, and revenue generation in water utilities (PDAM). Perumdam Tirta Raharja faces similar challenges, with a Non-Revenue Water (NRW) rate of 27.16% in its 2023 performance, which still needs to be further reduced to meet the 25% target set in the National Medium-Term Development Plan (RPJMN) for 2025–2029. This study aims to analyze NRW control strategies through technology integration using the Lean Six Sigma and Total Quality Management (TQM) approaches. The research employs descriptive evaluative analysis with a gap analysis approach, focusing on identifying discrepancies between ideal targets and actual field conditions. This methodology is strengthened by the DMAIC (Define-Measure-Analyze-Improve-Control) framework as a foundation for process improvement, complemented by Total Quality Management (TQM) principles designed to strengthen organizational quality culture as a key driver in optimizing technology utilization. The findings indicate that the establishment of District Metered Areas (DMA) has not yet become an absolute solution for NRW control, as several distribution zones still lack monitoring to identify priority NRW zones. Furthermore, the alarm management system based on technology,

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

although developed to enhance early detection and mitigation of water loss, has not been fully optimized. This system was specifically designed to foster a responsive work culture toward operational conditions in the field. Therefore, the integration of the DMAIC approach with the strengthening of a quality culture is identified as a crucial element in supporting the achievement of the company's key performance indicators (KPIs). This study is expected to serve as a reference for organizations in designing and implementing more effective NRW control measures within Perumdam Tirta Raharja and similar water utility environments.

Keywords: *Non-Revenue Water, Lean Six Sigma, Total Quality Management, DMAIC, SCADA-IoT-GIS Technology, Water Loss Control, PDAM*

PENDAHULUAN

Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Raharja merupakan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang berdiri berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Bandung Nomor XVII Tahun 1977 tentang Pembentukan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Bandung. Perumdam Tirta Raharja saat ini melayani 3 area administratif mencakup Kabupaten Bandung, Kabupaten Bandung Barat dan Kota Cimahi (Perumdam Tirta Raharja, 2025). Dalam penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), setiap BUMD Air Minum dievaluasi kinerjanya berdasarkan Kepmendagri Nomor 47 Tahun 1999 serta indikator yang ditetapkan oleh Direktorat Jenderal Cipta Karya Kementerian PU, yang mencakup aspek keuangan, pelayanan, operasional, dan sumber daya manusia. Salah satu kinerja aspek operasional adalah indikator Air Tak Berekening (ATR) atau lebih dikenal kehilangan air, dimana Air Tak Berekening (ATR) merupakan indikator teknis yang mencerminkan efisiensi operasional perusahaan. Pemerintah menetapkan target penurunan Air Tak Berekening (ATR) dari 32% pada tahun 2025 menjadi 25% pada tahun 2029 dalam RPJMN 2025–2029 sebagai upaya strategis meningkatkan pelayanan dan keberlanjutan sistem air minum nasional (Akgün & Erdal, 2015). Air Tak Berekening (ATR) adalah perbedaan antara volume input sistem dan konsumsi yang ditagih. Air Tak Berekening (ATR) mencakup tidak hanya kerugian nyata dan kerugian yang tampak, tetapi juga konsumsi yang diizinkan tetapi tidak ditagih (Bai, Wang, Li, Xie, & Wang, 2025).

Perumdam Tirta Raharja telah menerapkan pengendalian Air Tak Berekening (ATR) dengan pendekatan berbasis teknologi (AlDairi, Alresheedi, & Rauf, 2020; Berg & Danilenko, 2015). Teknologi yang digunakan meliputi pemantauan secara *online* dan *real-time* melalui integrasi *Internet of Things* (IoT), SCADA, dan *Geographic Information System* (GIS). Sekitar > 900 peralatan sudah tersebar dan terpasang di lapangan yang terdiri dari Data Logger, RTU, sensor, PRV dan instrumentasi kontrol lainnya (Perumdam Tirta Raharja, 2025).

Meskipun Perumdam Tirta Raharja telah menerapkan berbagai teknologi dalam pengendalian Air Tak Berekening (ATR) namun implementasi tersebut belum memberikan dampak yang signifikan terhadap penurunan Air Tak Berekening (ATR) (Warton, Mitchell, & Harrison, 2024).

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

Hal ini terlihat dari tren Air Tak Berekening (ATR) atau kehilangan air dalam evaluasi kinerja perusahaan, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 1. Evaluasi Kinerja Aspek Operasi Perumdam Tirta Raharja

| Aspek | 2021 Kondisi | 2021 Nilai | 2022 Kondisi | 2022 Nilai | 2023 Kondisi | 2023 Nilai | Bobot Kinerja - Operasi |
|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--|
| Efisiensi Produksi | 93.95% | 5 | 96.12% | 5 | 93.17% | 5 | 1.68 |
| Tingkat Kehilangan Air | 27.20% | 4 | 27.21% | 4 | 27.16% | 4 | |
| Jam Operasi Layanan / hari | 24 | 5 | 24 | 5 | 24 | 5 | |
| Tekanan Sambungan Pelanggan | 96.5% | 5 | 96.60% | 5 | 97.11% | 5 | |
| Penggantian Meter Air | 25.14% | 5 | 25.69% | 5 | 23.86% | 5 | |

Sumber data: Buku Kinerja BUMD Air Minum 2024

Berdasarkan data diatas, hal ini menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi teknologi tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan sistem yang digunakan, tetapi juga sangat bergantung pada kesiapan sumber daya manusia serta sinergi antar bagian dalam organisasi untuk mengintegrasikan teknologi ke dalam proses bisnis secara berkelanjutan (Kanakoudis et al., 2017; Kowalski, Kowalska, Suchorab, & Gaska, 2022).

Beberapa penelitian terdahulu telah meneliti pemanfaatan teknologi cerdas dalam mengurangi Air Tak Berekening (ATR), namun masih minim membahas peran kesiapan organisasi dan sumber daya manusia dalam mendukung efektivitas teknologi tersebut. Penelitian oleh Shim et al. (2022) di Brasil menunjukkan bahwa penerapan teknologi berbasis IoT, SCADA, GIS, dan kecerdasan buatan secara signifikan menurunkan kehilangan air dengan meningkatkan pemantauan real-time dan manajemen aset. Namun, fokus penelitian ini hanya pada aspek teknis tanpa mengevaluasi kesiapan organisasi atau keterlibatan staf operasional dalam proses tersebut (Thompson, Richards, & Davis, 2025). Hal serupa juga terlihat dalam studi manajemen air pintar di Singapura oleh Dai (2025), yang menyoroti keberhasilan sistem deteksi kebocoran dan analitik real-time, tetapi tidak membahas secara mendalam peran operator lapangan dan koordinasi antardepartemen dalam mendukung implementasi. Kedua studi tersebut memperlihatkan bahwa keandalan teknologi saja tidak cukup tanpa dukungan dari aspek sosial-organisasi (Tavakoli, Hosseini, & Ghorbanian, 2024).

Oleh karena itu, penelitian ini hadir untuk mengevaluasi secara kritis bagaimana kesiapan SDM, sinergi lintas bagian, dan integrasi proses bisnis turut menentukan efektivitas pengendalian ATR di Perumdam Tirta Raharja

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

(Idrica, 2025). Tujuan penelitian ini adalah menganalisis secara komprehensif hubungan antara penerapan teknologi dan penurunan ATR dengan mempertimbangkan faktor non-teknis, sehingga dapat memberikan rekomendasi berbasis bukti kepada pengambil kebijakan dan manajemen BUMD dalam mengoptimalkan investasi teknologi melalui penguatan kapasitas manusia dan koordinasi organisasi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Perumdam Tirta Raharja Kabupaten Bandung dengan fokus pada analisis efektivitas perbaikan bisnis proses melalui integrasi teknologi dengan pendekatan Lean Six Sigma dan *Total Quality Management* dalam mendukung pengendalian Air Tak Berekening (ATR) di lingkungan Perumdam Tirta Raharja.

Lean Six Sigma berfokus pada penghilangan pemborosan dengan menentukan aktivitas atau langkah-langkah yang memberikan nilai tambah dari aktivitas atau langkah-langkah yang tidak memberikan nilai tambah (AlDairi et al., 2020). Kombinasi keduanya dalam siklus DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) dapat digunakan untuk menganalisis proses distribusi dan mengurangi kegiatan pengendalian kehilangan air yang tidak efektif.

Tahap *Define* dilakukan untuk merumuskan permasalahan utama, yaitu ketidaksesuaian antara output teknologi yang digunakan dengan capaian indikator kinerja ATR. Pada tahap ini juga didefinisikan kebutuhan pembagian zona pengaliran sebelum merumuskan pembentukan *District Metered Area* (DMA). Tahap *Measure* berfokus pada pengukuran efektivitas infrastruktur dan sistem yang telah diterapkan, termasuk Air Tak Berekening (ATR) pada *District Metered Area* (DMA), serta pemanfaatan teknologi pemantauan dan sistem manajemen alarm yang sudah diimplementasikan. Pada tahap *Analyze*, dilakukan *gap analysis* antara output Air Tak Berekening (ATR) dengan pemanfaatan teknologi sebagai pendukung kegiatan pengendalian Air Tak Berekening (ATR) termasuk respon terhadap *alarm system*. Tahap *Improve* merumuskan strategi peningkatan kinerja dengan membuat desain zona pengaliran untuk proses pemantauan prioritas zona Air Tak Berekening (ATR) yang paling besar sehingga dapat memudahkan fokus zona pengaliran mana yang harus diutamakan untuk di kendalikan. Selain itu meningkatkan kesadaran untuk merespon alarm adalah kunci keberhasilan untuk meminimalkan kenaikan Air Tak Berekening (ATR). Tahap *Control* menekankan pada pemantauan terhadap Air Tak Berekening (ATR) dengan menggunakan analisis neraca air, klasifikasi alarm operasional berdasarkan standar dan SLA (*Service Level Agreement*), serta penerapan budaya kerja kolaboratif melalui prinsip *Total Quality Management* (TQM). Pendekatan *Total Quality Management* (TQM) menekankan pada nilai pegawai dalam

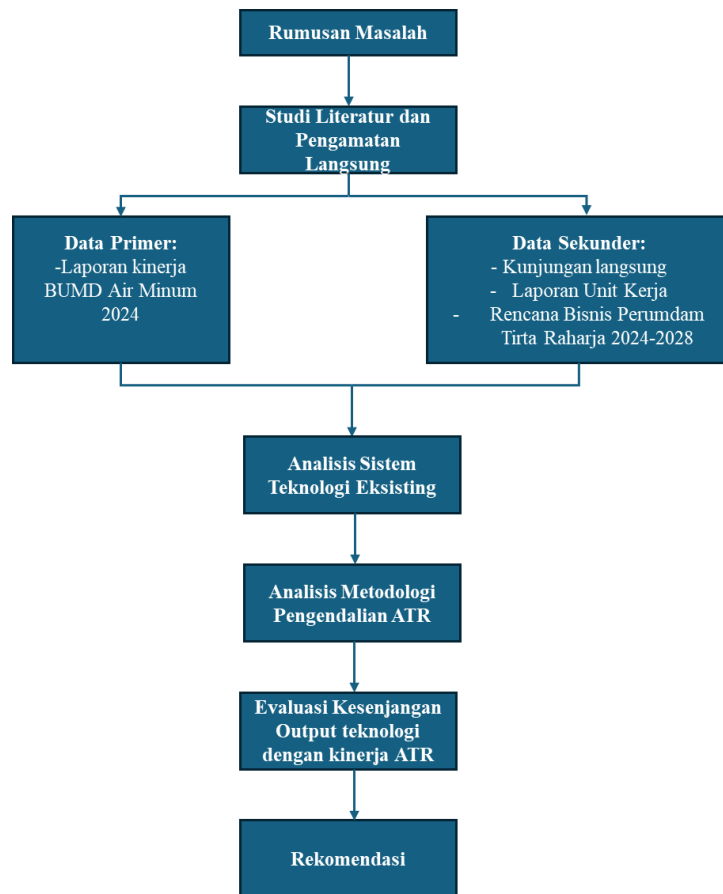
Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

perusahaan, mempertimbangkan kemampuan mereka untuk menyelesaikan kesulitan ketika dan di mana mereka muncul, selain dari pencarian terus-menerus terhadap kesempurnaan (Warton et al., 2024). *Total Quality Management* (TQM) memberikan kerangka kerja yang menekankan pentingnya keterlibatan seluruh elemen organisasi dalam proses perbaikan. Melalui pemberdayaan sumber daya manusia dan peningkatan budaya mutu, *Total Quality Management* (TQM) mendorong setiap individu untuk proaktif dalam mengidentifikasi permasalahan di lapangan dan menyelesaikannya secara kolaboratif.

Analisis terhadap sistem yang telah berjalan di Perumdam Tirta Raharja dilakukan melalui studi literatur dan pengamatan langsung, di mana studi literatur bertujuan memperkuat landasan teoritis dengan merujuk pada *e-book*, dokumen laporan, jurnal, internet, serta berbagai bahan bacaan relevan lainnya yang berkaitan dengan objek penelitian. Kegiatan ini dilakukan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Analisis sistem teknologi eksisting, meliputi *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA), Sistem Informasi Geografis (GIS), infrastruktur, dan *dashboard* pemantauan.
2. Analisis terhadap metodologi pengendalian Air Tak Berekening (ATR) yang diterapkan di perusahaan.
3. Evaluasi kesenjangan (*gap analysis*) antara output dari pemanfaatan teknologi dan capaian indikator kinerja Air Tak Berekening (ATR)

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja



Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian

Analisis Sistem Teknologi Eksisting

Perumdam Tirta Raharja telah menjalankan pengendalian Air Tak Berekening (ATR) dengan memanfaatkan teknologi, di antaranya melalui penerapan SCADA berbasis web yang memudahkan pegawai dalam memantau kondisi operasional distribusi secara *real-time*. Sistem eksisting ini dilengkapi berbagai fitur seperti manajemen alarm, log aktivitas pegawai, *dashboard* neraca air, hingga model prediksi kondisi operasional 6 jam ke depan berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

Seluruh data yang diperoleh berasal dari perangkat *telemetry* yang tersebar di seluruh sistem distribusi dalam SPAM dan disimpan secara sistematis serta terstruktur dalam *database* di data center milik perusahaan. Selain itu, untuk mendukung analisis berbasis spasial, Perumdam Tirta Raharja juga menggunakan aplikasi GIS yang merepresentasikan data operasional dan infrastruktur dalam bentuk peta digital. Aplikasi ini membantu dalam proses analisis pemantauan aset serta pemantauan hidrolis sistem distribusi secara visual dan terintegrasi (Perumdam Tirta Raharja, 2025).

Analisis Metodologi Pengendalian Air Tak Berekening

Metodologi pengendalian Air Tak Berekening (ATR) eksisting yang dijalankan adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan dan pembuatan *District Metered Area* (DMA).
2. Pemasangan alat ukur DMA.
3. Kegiatan pengendalian kehilangan air fisik dengan melakukan *step test*, jalan-jalan malam, kegiatan pengukuran debit *on the spot*, pencarian kebocoran dengan peralatan deteksi (*ground microphone* dan *correlator*).
4. Kegiatan pengendalian kehilangan air non fisik dengan melakukan survey pemakaian 0 m³, survei ex-bongkar, kegiatan pencarian koneksi ilegal dan konsumsi ilegal.
5. Kegiatan pemantauan dan evaluasi yang dilakukan dengan bantuan teknologi informasi dan operasi.

Dengan telah berjalannya metodologi dalam pengendalian Air Tak Berekening (ATR), maka langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi terhadap efektivitas berjalannya sebuah pembentukan DMA. Pada tahun 2025 Perumdam Tirta Raharja telah memiliki 37 DMA yang tersebar pada setiap SPAM. Pendekatan *Lean Six Sigma* dengan model DMAIC (*Define-Measure-Analysis-Improve-Control*) digunakan sebagai kerangka kerja untuk menghilangkan pemborosan dan variasi dalam proses pembentukan DMA, guna meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan pencapaian target kinerja utama (KPI). Menurut Weimin (2022) batas pembuatan DMA dapat terdiri sebagai berikut :

1. Hindari interkoneksi antara zona pemompaan dan gravitasi.
2. Tetapkan batas DMA terkait elevasi.
3. Minimalkan kebutuhan pemompaan.
4. Rancang DMA dengan kurang dari 5000 pelanggan.
5. Manfaatkan pipa yang ada sebaik mungkin.

Berdasarkan rekomendasi dari *International Water Association* (IWA), jumlah pelanggan dalam satu DMA di wilayah perkotaan idealnya berkisar antara 500 hingga 3.000 pelanggan. Jika diasumsikan satu DMA terdiri dari ± 1.000 sambungan pelanggan, maka Perumdam Tirta Raharja seharusnya memiliki sekitar 118 DMA untuk mengakomodasi seluruh jumlah pelanggan aktif yang ada saat ini. Namun, pada kenyataannya, desain DMA di Perumdam Tirta Raharja belum sepenuhnya mengikuti acuan yang direkomendasikan oleh *International Water Association* (IWA). Terdapat beberapa DMA yang memiliki jumlah pelanggan kurang dari 500 sambungan, sehingga menyebabkan jumlah total DMA yang terbentuk menjadi lebih banyak dari estimasi ideal. Kondisi ini disebabkan oleh pertimbangan teknis di lapangan seperti rekayasa jaringan, topografi, tekanan hidrolis, dan distribusi pelanggan yang tidak merata. Pendekatan DMAIC digunakan untuk menganalisis dan memperbaiki metode pengendalian ATR. Salah satu tahapan awal dalam pendekatan ini adalah mengidentifikasi wilayah yang potensial untuk

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

dikendalikan. Oleh karena itu, dilakukan analisis awal berdasarkan pembagian `zona pengaliran (*hydraulic zones*), sebelum memutuskan pemasangan DMA secara menyeluruh. Pendekatan ini memprioritaskan pembangunan DMA dilakukan secara bertahap berdasarkan jalur distribusi utama dan potensi kebocoran, sehingga lebih efisien dari sisi investasi dan operasional. Saat ini, Perumdam Tirta Raharja telah menyusun *grand design* zona yang terdiri dari sekitar 42 zona yang tersebar di seluruh wilayah pelanggan. Dari 42 zona yang direncanakan, sebanyak 29 zona telah terpasang meter induk, dan 28 zona di antaranya sudah termonitor secara online. Masih tersisa 13 zona yang belum terpasang meter induk, serta sekitar 14 zona yang perlu dipasang alat pemantauan *online*. Baru setelah itu identifikasi dan melakukan proses pemantauan menggunakan metode neraca air (*Water Balance*) yang di rekomendasikan oleh *International Water Association* (IWA). Neraca air menurut IWA adalah suatu pendekatan sistematis untuk menghitung dan menganalisis semua komponen aliran air dalam sistem distribusi. Neraca air ini memudahkan dalam pengelompokan pendistribusian air dari konsumsi resmi hingga kehilangan air. Berdasarkan hasil ATR pada zona-zona pengaliran, tahap berikutnya adalah penetapan skala prioritas pengendalian ATR, antara lain dengan membentuk DMA untuk memfokuskan pencarian kehilangan air secara lebih terukur dan efisien (U.S. Environmental Protection Agency, 2025).

Bentuk neraca air dapat di lihat pada gambar gambar 2.

| | | | | | |
|-----------------|----------------|--|---|---|--|
| INPUT SISTEM | KONSUMSI RESMI | KONSUMSI RESMI BEREKENING | KONSUMSI MELALUI METER BISA DIREKENINGKAN | AIR BISA DIREKENINGKAN (ABR) | |
| | | | KONSUMSI TANPA METER BISA DIREKENINGKAN | | |
| | KEHILANGAN AIR | KONSUMSI RESMI TAK BEREKENING | | KONSUMSI MELALUI METER TIDAK BISA DIREKENINGKAN | AIR TAK BISA DIREKENINGKAN (ATBR) atau NRW (NON REVENUE WATER) |
| | | | | KONSUMSI TANPA MELALUI METER TIDAK BISA DIREKENINGKAN | |
| | | KEBOCORAN NON FISIK (KOMERSIAL) | | KONSUMSI TAK RESMI | |
| | | | | METER TAK AKURAT DAN KESALAHAN DATA | |
| KEBOCORAN FISIK | | KEBOCORAN PADA PERPIPAAN DAN PERALATANNYA | | | |
| | | KEBOCORAN PADA PIPA DINAS SAMPAI METER PELANGGAN | | | |
| | | LUAPAN PADA TANGKI DAN RESERVOAR | | | |

Gambar 2. Neraca air standar IWA

Kegiatan lainnya yang telah dilakukan adalah mengembangkan sistem manajemen alarm yang berfungsi sebagai upaya mitigasi dan untuk menumbuhkan budaya kerja yang responsif terhadap kondisi operasional di lapangan. Sistem ini bertujuan untuk meminimalkan potensi kenaikan ATR

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

dengan memberikan peringatan dini terhadap gangguan operasional. Setiap alarm diklasifikasikan berdasarkan kategori risiko, dengan standar layanan (SLA) sebagai berikut:

1. Prioritas tinggi: harus direspons dalam waktu maksimal 6 jam,
2. Prioritas sedang: maksimal 12 jam,
3. Prioritas rendah: maksimal 1 hari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kesenjangan Output Teknologi dengan Kinerja ATR

Bagian ini memaparkan secara deskriptif tentang evaluasi antara pemanfaatan teknologi, metodologi yang sudah di jalankan dengan data kinerja ATR.

Untuk mengidentifikasi kesenjangan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan gap analysis, yang membandingkan kondisi ideal dengan kondisi aktual di lapangan. Berikut adalah evaluasi berdasarkan data kinerja tahun 2023.

Tabel 2. Evaluasi Kinerja Aspek Operasi Perumdam Tirta Raharja

| Aspek | Target Ideal | Kondisi Aktual | Kesenjangan (Gap) |
|---|-----------------------------------|---------------------------------------|--|
| Jumlah DMA | ~118 DMA (berdasarkan IWA) | 37 DMA | 81 DMA belum terbentuk, desain belum optimal |
| Jumlah Pelanggan per DMA | 500–3.000 pelanggan (IWA) | Beberapa DMA < 500 pelanggan | Terlalu banyak DMA kecil, efisiensi rendah |
| Respons Sistem Alarm (Prioritas Tinggi) | Maksimal 6 jam (SLA) | Rata-rata hanya 74% respons ≤6 jam | 26% alarm prioritas tinggi terlambat |
| Pemantauan Zona Distribusi | 100% zona terpantau via SCADA/GIS | Hanya 67% zona terpantau secara aktif | 33% zona tidak terpantau kondisinya |
| Efektivitas Pengendalian ATR | Penurunan ATR menuju 25% | ATR masih di 27,16% | Belum mencapai target nasional |

Sumber data: Laporan hasil observasi

Tabel di atas menunjukkan bahwa meskipun infrastruktur teknologi telah diterapkan secara masif (lebih dari 900 perangkat IoT, SCADA, dan GIS terpasang), pemanfaatannya belum optimal. Kesenjangan terbesar terjadi pada desain DMA, respons terhadap alarm, dan pemantauan zona prioritas. Data dari Laporan Command Center Juni 2025 mengonfirmasi bahwa sistem manajemen alarm belum sepenuhnya efektif, terutama untuk alarm prioritas tinggi yang membutuhkan respons cepat (Kumar & Singh, 2023; Kunkel, 2018).

Perumdam Tirta Raharja telah membentuk 37 DMA pada 2025. Namun, berdasarkan rekomendasi International Water Association (IWA), jumlah ideal DMA untuk jumlah pelanggan saat ini adalah sekitar 118 DMA dengan 500–3.000 pelanggan per zona. Fakta di lapangan menunjukkan:

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

- 1) Beberapa DMA memiliki kurang dari 500 pelanggan, yang membuat pemantauan belum efisien.
- 2) Belum semua zona distribusi dilakukan pemantauan awal berbasis zona hidrolis (hydraulic zones) sebelum pembentukan DMA.
- 3) Akibatnya, beberapa DMA tidak mewakili zona dengan potensi kebocoran tertinggi.

Berdasarkan data terbaru, Perumdam Tirta Raharja sedang dalam proses pembentukan 42 zona distribusi prioritas sebagai dasar untuk pengembangan DMA. Namun, realisasinya belum sesuai dari target:

- 1) Dari 42 zona yang direncanakan, hanya 29 zona yang telah terpasang meter induk.
- 2) Hanya 28 zona yang sudah termonitor secara online melalui sistem SCADA.
- 3) Masih tersisa 13 zona tanpa meter induk.
- 4) Sekitar 14 zona perlu dipasang alat pemantauan online untuk memastikan data *real-time* tersedia.

Berdasarkan Laporan Command Center Periode Juni 2025, sistem manajemen alarm telah diklasifikasikan dengan SLA sebagai berikut:

- 1) Prioritas Tinggi: Respons ≤ 6 jam
- 2) Prioritas Sedang: Respons ≤ 12 jam
- 3) Prioritas Rendah: Respons ≤ 24 jam

Namun, hasil evaluasi menunjukkan:

Tabel 3. Evaluasi Kinerja Aspek Operasi Perumdam Tirta Raharja

| Prioritas Alarm | Persentase Respons Tepat Waktu |
|------------------|--------------------------------|
| Prioritas Tinggi | Rata-rata 74% |
| Prioritas Sedang | Rata-rata 73% |
| Prioritas Rendah | Rata-rata 80% |

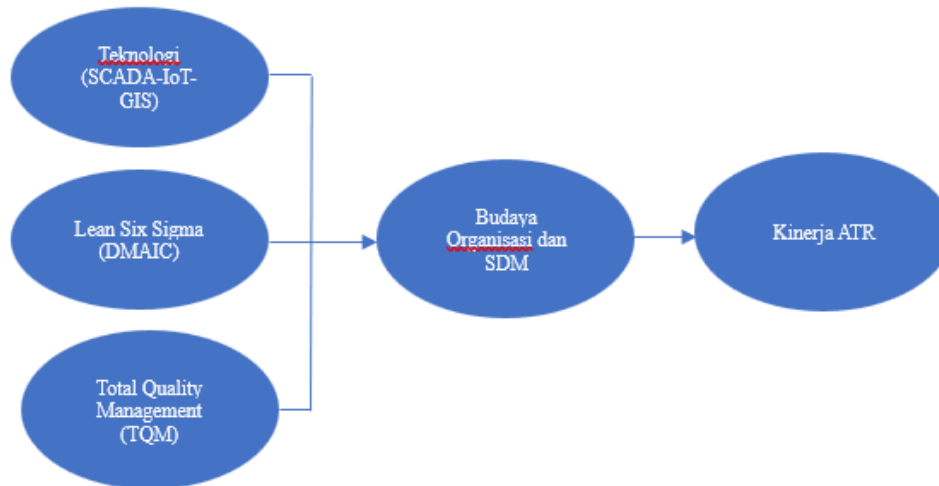
Sumber data: Laporan Command Center 2025

Dari data sumber di atas, terlihat ketidaksesuaian dalam respons terhadap alarm. Secara ideal, berdasarkan pedoman (ISA) 18.2 tentang Sistem Manajemen Alarm, distribusi alarm seharusnya terdiri dari 5% prioritas tinggi, 15% prioritas sedang, dan 80% prioritas rendah. Hal ini menunjukkan bahwa alarm prioritas tinggi, meskipun jumlahnya sedikit, merupakan kategori yang paling kritis dan harus menjadi fokus utama respons di operasional.

Namun, hasil evaluasi menunjukkan bahwa respons terhadap alarm prioritas tinggi justru memiliki persentase penyelesaian lebih rendah jika dibandingkan dengan alarm prioritas rendah. Kondisi ini menunjukkan adanya ketidaksesuaian dalam manajemen prioritas. Idealnya, alarm prioritas tinggi harus ditangani dengan tingkat respons minimal 95% sesuai SLA, baru kemudian fokus beralih ke alarm prioritas sedang dan rendah. Dengan demikian, perlu dilakukan peningkatan perbaikan yang secara konsisten harus dilakukan terhadap respons alarm berdasarkan tingkat risiko dan urgensi masing-masing kategori.

Integrasi Teknologi, DMAIC, dan TQM Kunci Penurunan ATR

Untuk mengatasi kesenjangan di atas, penelitian ini mengusulkan integrasi tiga pilar utama yaitu Teknologi, Lean Six Sigma (DMAIC), dan Total Quality Management (TQM) bekerja bersama-sama untuk memengaruhi pembentukan Budaya Organisasi dan SDM. Kerangka berpikir ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kerangka Berpikir

Berdasarkan kerangka berpikir di atas dijelaskan bahwa:

1. Teknologi (SCADA-IoT-GIS) menyediakan data real-time untuk pemantauan;
2. DMAIC (*Define-Measure-Analyze-Improve-Control*) memberikan kerangka sistematis untuk menganalisis dan memperbaiki proses;
3. TQM memperkuat budaya mutu dan keterlibatan SDM dalam proses perbaikan;
4. Budaya Organisasi & SDM menjadi penggerak utama dalam merespons data dan teknologi secara efektif;
5. Kinerja ATR membaik karena semua elemen bekerja secara sinergis.

Budaya organisasi yang kuat dan sumber daya manusia (SDM) yang terlatih akan menjadi penggerak utama dalam mencapai Kinerja ATR yang lebih baik. Panah-panah pada diagram menggambarkan arah pengaruh, di mana teknologi dan metodologi perbaikan mendukung pembentukan budaya, sedangkan budaya tersebut menjadi fondasi untuk mencapai target kinerja ATR.

Rekomendasi

Berdasarkan temuan, berikut adalah rekomendasi strategis untuk meningkatkan efektivitas pengendalian ATR:

Tabel 4. Rekomendasi Integratif untuk Penurunan ATR

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

| Komponen | Rekomendasi | Dampak yang Diharapkan |
|---------------------------------------|---|--|
| Teknologi | <ul style="list-style-type: none"> - Melengkapi pemasangan meter induk di 13 zona tersisa dari 42 zona prioritas. - Pemasangan alat pemantauan online di 14 zona yang belum termonitor. - Memanfaatkan AI untuk prediksi kebocoran berbasis pola tekanan dan aliran. | Data lebih komprehensif, deteksi dini lebih akurat. |
| Metodologi (DMAIC) | <ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan tahap Define untuk identifikasi zona prioritas berbasis hidrolis. - Menerapkan Analyze untuk evaluasi root cause ATR di tiap DMA. - Menggunakan Control untuk monitoring berkelanjutan via neraca air. | Proses lebih sistematis, fokus pada zona berisiko tinggi. |
| Total Quality Management (TQM) | <ul style="list-style-type: none"> - Memfasilitasi pelatihan budaya mutu dan responsif. - Melibatkan seluruh level pegawai dalam program pengendalian ATR. - Mengintegrasikan sistem penilaian kinerja dengan respons cepat terhadap alarm. | Meningkatkan keterlibatan SDM dan budaya kerja proaktif. |
| Budaya Organisasi & SDM | <ul style="list-style-type: none"> - Menjadikan respons terhadap alarm sebagai KPI tim operasional. - Melakukan evaluasi bulanan terhadap kinerja respons alarm. - Menyusun SOP Command Center sebagai bagian dari kegiatan pemantauan dan evaluasi operasional. | Membentuk disiplin kerja, akuntabilitas, dan koordinasi lintas unit. |

Tabel 4 menyajikan rekomendasi integratif untuk menurunkan Air Tak Berekening (ATR) di Perumdam Tirta Raharja melalui pendekatan multidimensional yang mencakup empat komponen utama: Teknologi, Metodologi (DMAIC), Total Quality Management (TQM), dan Budaya Organisasi & SDM. Pada aspek teknologi, direkomendasikan pemasangan alat pemantauan dan meter induk pada zona yang belum tercover serta pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) untuk mendeteksi kebocoran secara prediktif, guna menghasilkan data yang lebih komprehensif dan akurat. Pada metodologi DMAIC, diterapkan pendekatan Define, Analyze, dan Control untuk mengidentifikasi zona prioritas, melakukan evaluasi akar masalah, serta monitoring berkelanjutan berbasis neraca air (Çınar et al., 2024; Farrukh, Mathrani, & Taskin, 2025; Grigg, 2025).

Komponen TQM difokuskan pada pelatihan budaya mutu, keterlibatan seluruh jenjang pegawai, dan integrasi sistem penilaian kinerja dengan alarm operasional (Hatem, Nagarajan, & Al-Delaimy, 2023; Morrison, 2014).

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

Terakhir, komponen budaya organisasi dan SDM menekankan pentingnya menjadikan respons alarm sebagai indikator kinerja (KPI), evaluasi rutin, serta penyusunan SOP Command Center sebagai wujud tata kelola operasional yang disiplin dan terintegrasi (Walski, 2024). Seluruh rekomendasi ini dirancang untuk membentuk ekosistem kerja yang tidak hanya berbasis teknologi, tetapi juga memberdayakan proses dan manusia secara simultan (Shim, Bae, & Kim, 2022).

Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa solusi pengendalian ATR yang berkelanjutan tidak dapat hanya bertumpu pada sisi teknologi. Integrasi antara kecanggihan alat, sistem perbaikan berbasis data, dan budaya organisasi yang proaktif merupakan kunci untuk mencapai target nasional ATR sebesar 25%. Tabel 4 menjadi fondasi strategis yang dapat digunakan Perumdam Tirta Raharja maupun BUMD sejenis dalam merumuskan kebijakan operasional yang efektif, efisien, dan adaptif terhadap tantangan masa depan sistem penyediaan air minum (Wurtzel, 2023).

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa meskipun Perumda Air Minum Tirta Raharja telah mengimplementasikan berbagai teknologi canggih seperti SCADA, IoT, dan GIS untuk mendukung pengendalian Air Tak Berekening (ATR), namun dampaknya belum signifikan terhadap penurunan ATR yang masih berada di angka 27,16% pada tahun 2023, belum mencapai target nasional sebesar 25% dalam RPJMN 2025–2029. Gap analysis menunjukkan bahwa keberhasilan pengendalian ATR tidak hanya bergantung pada kecanggihan teknologi, melainkan juga pada kesiapan organisasi dan efisiensi operasional. Dua kendala utama yang teridentifikasi adalah belum optimalnya pembentukan District Metered Area (DMA), yang hanya berjumlah 37 dari estimasi ideal 118 DMA, serta lemahnya respons terhadap alarm prioritas tinggi yang hanya tercapai 74% dalam SLA ≤ 6 jam, bertentangan dengan prinsip ISA 18.2. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan bahwa pengendalian ATR yang efektif dan berkelanjutan memerlukan integrasi tiga pilar utama: pemanfaatan teknologi untuk monitoring real-time, penerapan metodologi perbaikan proses berbasis Lean Six Sigma (DMAIC), dan penguatan budaya mutu organisasi melalui Total Quality Management (TQM). Tanpa sinergi antara teknologi, proses, dan manusia, investasi teknologi berisiko tidak optimal. Hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi strategis bagi Perumda Tirta Raharja dan BUMD air minum lainnya dalam merancang pengendalian ATR yang lebih efisien, terukur, dan berorientasi pada perbaikan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

- Akgün, İ., & Erdal, M. (2015). The effects of total quality management on the business performance: An application in the province of Kütahya. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1444-1452. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.442>
- AlDairi, J., Alresheedi, M., & Rauf, A. (2020). Management of water losses in water distribution systems using lean six sigma framework. In *Operations and service management: Concepts, methodologies, tools, and applications* (pp. 1051-1073). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-0590-0.ch057>
- Bai, Y., Wang, P., Li, C., Xie, J., & Wang, Y. (2025). Machine learning for smart water distribution systems: Exploring applications, challenges and future perspectives. *Artificial Intelligence Review*, 58(2), 1-45. <https://doi.org/10.1007/s10462-024-11093-7>
- Berg, S., & Danilenko, A. (2015). Drivers of non-revenue water: A cross-national analysis. *Utilities Policy*, 36, 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.09.005>
- Çınar, Z. M., Abdussalam Nuhu, A., Zeeshan, Q., Korhan, O., Asmael, M., & Safaei, B. (2024). Artificial intelligence for predictive maintenance applications: Key components, trustworthiness, and future trends. *Applied Sciences*, 14(2), 898. <https://doi.org/10.3390/app14020898>
- Farrukh, A., Mathrani, S., & Taskin, N. (2025). Green lean six sigma for sustainable development: A systematic review of evolution, challenges, and future pathways. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 27(1), 1-28. <https://doi.org/10.1007/s10098-025-03281-y>
- Grigg, N. S. (2025). Digital transformation in water utilities: Status, challenges, and prospects. *Smart Cities*, 8(3), 99. <https://doi.org/10.3390/smartcities8030099>
- Hatem, D., Nagarajan, R., & Al-Delaimy, W. K. (2023). Smart solutions for reducing non-revenue water in water distribution networks: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*, 52, 103564. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103564>
- Idrica. (2025, February 18). Water technology trends 2025 - Revolutionizing water management through digital transformation. *Smart Water Magazine*. <https://smartwatermagazine.com/news/idrica/top-eight-technological-trends-set-shape-water-management-2025>
- Kanakoudis, V., Tsitsifli, S., Gonelas, K., Papadopoulou, A., Kouziakis, C., & Lappos, S. (2017). Reducing non-revenue water in urban water distribution networks using DSS tools. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(6), 1789-1802. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.101>
- Kowalski, D., Kowalska, B., Suchorab, P., & Gaska, K. (2022). Division of district metered areas (DMAs) in a part of water supply network using WaterGEMS (Bentley) software: A case study. *Applied Water Science*, 12(7), 166. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01688-2>

Analisis Pengendalian Air Tak Berekening Berbasis Teknologi Melalui Pendekatan Integrasi Lean Six Sigma dan Total Quality Management di Perumda Air Minum Tirta Raharja

- Kumar, R., & Singh, M. (2023). The latest innovative avenues for the utilization of artificial intelligence and big data analytics in water resource management. *Results in Engineering*, 20, 101693. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101693>
- Kunkel, M. (2018, May 28). Employing district metered areas to proactively manage leakage in water utilities. *FluksAqua*. <https://www.fluksaqua.com/en/employing-district-metered-areas-to-proactively-manage-leakage-in-water-utilities/>
- Morrison, J. (2014). Managing leakage by district metered areas: A practical approach. *Water*, 21(2), 45-46.
- Shim, D., Bae, S., & Kim, J. (2022). A six sigma approach to water savings in industrial facilities. *Environmental Management and Sustainable Development*, 6(2), 158-175. <https://doi.org/10.5296/emsd.v6i2.12456>
- Tavakoli, M., Hosseini, S. A., & Ghorbanian, V. (2024). District metered areas determination for water distribution networks using improved Girvan-Newman algorithm. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(3), 102510. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102510>
- Thompson, K., Richards, M., & Davis, P. (2025). Artificial intelligence applications in water resource management: Current trends and future opportunities. *Water Resources Management*, 39(4), 1234-1251. <https://doi.org/10.1007/s11269-025-03421-8>
- U.S. Environmental Protection Agency. (2025). *Effective water utility management practices and lean six sigma integration*. EPA Office of Water. <https://www.epa.gov/sustainable-water-infrastructure/effective-water-utility-management-practices>
- Walski, T. (2024, September 30). Reducing water loss with district metered areas (DMAs). *Bentley Systems*. <https://blog.bentley.com/software/why-district-metered-areas/>
- Warton, L., Mitchell, R., & Harrison, K. (2024). Total quality management and organizational performance in public utilities: An empirical investigation. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 41(4), 892-915. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-08-2023-0267>
- Wurtzel, M. (2023). An introduction to operational excellence in utilities: A framework for continuous improvement. *BPM Institute*. <https://www.bpminstitute.org/resources/articles/introduction-operational-excellence>