

Strategi Pengendalian Kehilangan Air Dengan Optimalisasi District Meter Area Studi Kasus Pada Perumda Tirta Manuntung Balikpapan

Ali Rachman AS¹, Saleh Pallu²

¹ Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jl Poros Malino Km. 6, Makassar, email: rachbiggro@gmail.com

² Dosen Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Jl Poros Malino Km.6, Makassar, email: salehpallu@gmail.com

ABSTRAK

Kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW) merupakan tantangan utama dalam penyelenggaraan sistem penyediaan air bersih di Indonesia, termasuk pada Perumda Tirta Manuntung Balikpapan (PTMB). Tingginya nilai NRW yang tercatat mencapai 26% pada Februari 2024 mengindikasikan perlunya strategi pengendalian yang efektif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor utama penyebab kehilangan air, mengevaluasi efektivitas implementasi sistem *District Metered Area* (DMA), serta mengidentifikasi tantangan teknis dan manajerial dalam optimalisasi DMA. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan analisis regresi linier berganda untuk mengukur pengaruh zonasi DMA terhadap tingkat NRW. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan dan optimalisasi DMA mampu menurunkan kebocoran air secara signifikan; seperti pada Sub Zona Perum WIKA, tingkat kebocoran berhasil ditekan dari 29,98% menjadi 15,78% setelah penerapan metode *step test*, *sounding*, dan perbaikan infrastruktur. Temuan ini mengindikasikan bahwa strategi berbasis zonasi melalui DMA dapat meningkatkan efisiensi pengelolaan distribusi air, mendeteksi kebocoran lebih cepat, serta mengurangi kehilangan air secara fisik dan non-fisik. Namun, implementasi DMA masih menghadapi berbagai kendala, termasuk keterbatasan sumber daya manusia, infrastruktur lama, serta kurangnya integrasi teknologi pemantauan secara real-time. Oleh karena itu, optimalisasi DMA perlu didukung oleh kebijakan pengelolaan air berbasis data, penguatan kelembagaan, serta pemanfaatan teknologi digital seperti Internet of Things (IoT) untuk pemantauan tekanan dan debit air secara berkelanjutan. Penelitian ini memberikan rekomendasi strategis dalam pengendalian NRW melalui penguatan sistem DMA sebagai solusi berkelanjutan dalam pengelolaan air di wilayah perkotaan.

Kata Kunci: Kehilangan Air, Non-Revenue Water, District Metered Area, Pengendalian Kebocoran, Efisiensi Distribusi

1. PENDAHULUAN

Air bersih merupakan kebutuhan mendasar yang sangat penting bagi peningkatan kualitas hidup masyarakat. Peningkatan jumlah penduduk dan pembangunan perkotaan menyebabkan permintaan air bersih terus meningkat secara signifikan, sehingga penyediaan air yang berkualitas, kuantitatif, dan berkelanjutan menjadi tantangan utama bagi penyedia layanan air minum. Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi penyelenggara sistem penyediaan air minum (SPAM) adalah tingginya tingkat kehilangan air atau *Non-Revenue Water* (NRW), yaitu air yang diproduksi tetapi tidak memberikan kontribusi pendapatan karena kebocoran fisik, pencurian, kesalahan pengukuran, maupun kesalahan administratif.

Perumda Tirta Manuntung Balikpapan (PTMB) sebagai badan usaha milik daerah yang bertanggung jawab atas penyediaan layanan air bersih di Kota Balikpapan, menghadapi permasalahan tingkat NRW yang masih tinggi, yaitu sebesar 26% pada Februari 2024. Tingginya angka ini mengindikasikan rendahnya efisiensi distribusi air dan berpotensi menimbulkan kerugian finansial yang signifikan. Dalam upaya menurunkan NRW, PTMB telah menerapkan pendekatan *District Metered Area* (DMA), yaitu segmentasi wilayah distribusi air ke dalam zona-zona terisolasi yang dilengkapi dengan meter induk dan katup pengontrol. Pendekatan ini memungkinkan deteksi dini kebocoran, pemantauan tekanan, dan pengelolaan distribusi air secara lebih efisien.

Namun demikian, implementasi dan optimalisasi sistem DMA di PTMB masih menghadapi berbagai tantangan, seperti infrastruktur jaringan yang menua, keterbatasan sumber daya manusia dan teknologi, serta lemahnya sistem pengawasan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, dibutuhkan analisis strategis dan komprehensif untuk mengevaluasi efektivitas DMA serta mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan pengendalian kehilangan air.

Penelitian ini difokuskan untuk menjawab pertanyaan utama: (1) Apa saja faktor-faktor utama yang menyebabkan kehilangan air berdasarkan kondisi NRW di PTMB? (2) Bagaimana efektivitas implementasi sistem DMA dalam mengurangi kehilangan air? dan (3) Apa saja tantangan teknis dan manajerial yang dihadapi dalam optimalisasi DMA?

Untuk menjaga ruang lingkup dan fokus kajian, penelitian ini dibatasi pada wilayah Kota Balikpapan dengan ruang lingkup penerapan DMA pada enam kecamatan pelayanan PTMB selama periode Maret hingga November 2024. Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode analisis regresi linier berganda untuk menguji pengaruh zonasi DMA terhadap tingkat NRW, serta didukung dengan evaluasi teknis berdasarkan data neraca air, *step test*, dan *infrastructure leakage index* (ILI).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis faktor-faktor penyebab NRW, mengevaluasi efektivitas sistem DMA dalam pengendalian kebocoran, serta merumuskan strategi pengelolaan DMA yang optimal dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoritis dan praktis, baik sebagai acuan bagi PTMB dalam meningkatkan efisiensi layanan air minum, maupun sebagai referensi bagi pengembangan kebijakan pengelolaan air secara nasional.

Sistematika penulisan laporan penelitian ini terdiri atas: (1) Pendahuluan yang memuat latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, metode, dan ruang lingkup penelitian; (2) Tinjauan pustaka yang menjelaskan teori-teori terkait kehilangan air dan sistem DMA; (3) Metodologi penelitian; (4) Hasil dan pembahasan; serta (5) Kesimpulan dan rekomendasi.

2. LANDASAN TEORI

2.1 non-revenue water (nrw)

Non-Revenue Water (NRW) atau air tak berekening merupakan indikator utama efisiensi kinerja sistem penyediaan air minum. NRW didefinisikan sebagai selisih antara volume air yang masuk ke sistem distribusi dan volume air yang secara resmi tercatat sebagai penjualan (International Water Association, 2000). Komponen NRW terdiri dari:

1. Kehilangan Air Fisik (*real losses*): kebocoran dari pipa transmisi, distribusi, sambungan rumah, dan fasilitas penampungan.
2. Kehilangan Air Non-Fisik (*apparent losses*): kesalahan pembacaan meter, pencurian air, dan kesalahan administratif.
3. Konsumsi Tak Berekening: air yang digunakan untuk keperluan kebakaran, pencucian pipa, atau konsumsi legal tanpa pembayaran.

Secara matematis, NRW dapat dihitung sebagai:

$$\text{NRW} = \text{Volume Input Sistem} - \text{Konsumsi Berekening}$$

$$\text{NRW (\%)} = (\text{NRW} / \text{Volume Input Sistem}) \times 100$$

Tingginya nilai NRW mencerminkan ketidakefisienan teknis dan finansial serta potensi kehilangan pendapatan yang besar bagi operator air.

2.2 Neraca air (water balance)

Neraca air digunakan untuk memetakan distribusi air dari produksi hingga pemakaian. Elemen-elemen utama dalam neraca air berdasarkan IWA (2000) adalah:

- Volume input sistem
- Konsumsi resmi (berekening dan tidak berekening)
- Kehilangan air non-fisik
- Kehilangan air fisik

Dengan persamaan:

$$\text{Volume Input Sistem} = \text{Konsumsi Resmi} + \text{NRW}$$

$$\text{NRW} = \text{Kehilangan Air Fisik} + \text{Kehilangan Air Non-Fisik} + \text{Konsumsi Tak Berekening}$$

2.3 Infrastructure leakage index (ili)

Infrastructure Leakage Index (ILI) merupakan indikator untuk menilai efisiensi pengelolaan kebocoran fisik air. ILI diperoleh dengan membandingkan *Current Annual Physical Losses* (CAPL) dengan *Minimum Achievable Annual Physical Losses* (MAAPL).

$$ILI = CAPL / MAAPL$$

Nilai ILI mendekati 1 menunjukkan sistem perpipaan dikelola dengan efisien, sedangkan nilai tinggi menunjukkan kebutuhan perbaikan signifikan.

2.4 District metered area (dma)

DMA adalah metode pembagian jaringan distribusi air menjadi zona-zona kecil terisolasi yang dilengkapi dengan meter induk dan katup kontrol. Tujuan DMA adalah untuk mempermudah pemantauan aliran air, tekanan, serta deteksi kebocoran.

Farley et al. (2008) menyarankan bahwa desain DMA ideal mencakup antara 1.000–2.500 sambungan rumah, memperhatikan topografi wilayah, stabilitas tekanan, serta efisiensi biaya instalasi.

2.5 Step test dan sounding

Step Test adalah metode penyempitan zona untuk mendeteksi kebocoran dengan menutup sebagian jaringan dan mengukur debit secara bertahap.

Nilai kehilangan air per sambungan = dQ / dSR

Kriteria:

- $< 0,005$ L/det → kebocoran rendah
- $0,005–0,01$ L/det → kebocoran sedang
- $> 0,01$ L/det → kebocoran tinggi

Sementara itu, *sounding* adalah metode deteksi kebocoran berbasis suara menggunakan alat pendeteksi akustik. Prosedur ini digunakan setelah *step test* untuk menentukan lokasi kebocoran secara presisi.

2.6 Analisis regresi linier berganda

Untuk menganalisis hubungan antara tingkat NRW dan zonasi DMA, digunakan model regresi linier berganda:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

Dengan:

- Y = Tingkat NRW
- X_n = Variabel DMA per wilayah
- β_n = Koefisien regresi
- ε = Galat/error

Koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui kontribusi variabel bebas dalam menjelaskan variasi variabel terikat. Nilai R^2 mendekati 1 menunjukkan kekuatan prediktif model yang tinggi.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran objek penelitian

Objek penelitian ini adalah Perusahaan Umum Daerah Tirta Manuntung Balikpapan (PTMB), yang merupakan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) yang bertanggung jawab atas penyediaan air bersih bagi masyarakat Kota Balikpapan. PTMB melayani enam kecamatan utama, yakni Balikpapan Barat, Timur, Tengah, Utara, Selatan, dan Kota, dengan total sambungan rumah mencapai lebih dari 116.000 SR pada tahun 2024.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah tingginya tingkat kehilangan air (Non-Revenue Water / NRW), yang mencapai 26% berdasarkan data Februari 2024. Tingginya NRW berdampak negatif terhadap efisiensi operasional, pendapatan perusahaan, serta keberlangsungan layanan air bersih bagi masyarakat.

3.2 Analisis permasalahan

Permasalahan dalam sistem distribusi air PTMB dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- Masalah teknis: kebocoran fisik pada jaringan distribusi akibat usia pipa yang sudah tua, kualitas pipa yang rendah, dan tekanan air yang fluktuatif.
- Masalah non-teknis: sambungan ilegal, kesalahan pembacaan meter, kerusakan meter air, dan pencatatan administrasi yang tidak akurat.
- Manajemen distribusi: keterbatasan kemampuan dalam melakukan deteksi kebocoran secara cepat dan tepat akibat tidak optimalnya penerapan sistem District Metered Area (DMA).
- Keterbatasan sumber daya: baik dari segi infrastruktur, SDM, maupun teknologi pemantauan real-time.

Penelitian ini diarahkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut dengan cara mengkaji dan merancang strategi pengendalian NRW melalui optimalisasi sistem DMA di wilayah pelayanan PTMB.

3.3 Metode Penelitian

Pendekatan penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan desain eksplanatori. Teknik analisis yang digunakan adalah regresi linier berganda untuk melihat pengaruh implementasi DMA terhadap tingkat NRW. Variabel bebas yang dianalisis adalah jumlah dan kondisi DMA di masing-masing kecamatan, sedangkan variabel terikat adalah persentase NRW.

Adapun tahapan metode penelitian secara sistematis meliputi:

1. Studi pendahuluan: pengumpulan data sekunder dari PTMB terkait profil distribusi air dan laporan NRW.
2. Pengumpulan data primer: dilakukan melalui pengukuran tekanan dan debit di masing-masing DMA, survei kebocoran fisik (step test, sounding), serta evaluasi data konsumsi pelanggan (DRD).
3. Analisis data:
 - Penyusunan Water Balance (WB-0 dan WB-1) sebelum dan sesudah intervensi.
 - Perhitungan Infrastructure Leakage Index (ILI).
 - Analisis regresi linier berganda terhadap pengaruh variabel DMA terhadap NRW.
4. Interpretasi dan evaluasi: evaluasi efektivitas strategi DMA berdasarkan perubahan NRW dan efisiensi sistem.
5. Rumuskan rekomendasi: perancangan kebijakan teknis dan manajerial untuk penguatan pengendalian kehilangan air.

3.4 Rancangan Sistem Penelitian

- a) Rancangan Umum
 Penelitian dirancang sebagai studi kuantitatif-lapangan dengan menggabungkan pendekatan teknis (pengukuran aliran dan tekanan) dan manajerial (penilaian efektivitas implementasi DMA). Sistem DMA dijadikan sebagai unit intervensi teknis dan unit observasi penelitian
- b) Rancangan Spesifik
 - Unit observasi: 45 wilayah DMA di 6 kecamatan
 - Parameter Teknis: aliran masuk (flowmeter induk), konsumsi pelanggan (DRD), tekanan, kebocoran yang terdeteksi, akurasi meter air
 - Indikator kinerja: presentase NRW, nilai ILI, dan jumlah air terselamatkan (m^3 / bulan)
 - Peralatan utama: flowmeter magnetic, leak detector, pressure logger
 - Analisis statistik: uji regresi linier berganda, uji F dan uji t, serta koefisien determinasi (R^2) untuk menilai kontribusi masing-masing variable.

3.5 Validasi dan Evaluasi Sistem

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai NRW dan ILI sebelum dan sesudah intervensi melalui step test dan perbaikan kebocoran pada zona DMA terpilih. Selain itu, data konsumsi pelanggan dan total input dibandingkan untuk menyusun neraca air. Hasilnya menjadi dasar evaluasi efektivitas sistem DMA dalam pengendalian kehilangan air.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi pengendalian kehilangan air melalui optimalisasi District Metered Area (DMA) pada Perumda Tirta Manuntung Balikpapan (PTMB). Berdasarkan hasil studi literatur, perancangan sistem, dan evaluasi teknis, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

Pertama, Penerapan sistem DMA terbukti efektif dalam menurunkan tingkat Non-Revenue Water (NRW). Intervensi teknis seperti step test, sounding, perbaikan kebocoran, serta pengaturan tekanan jaringan dapat menurunkan kebocoran fisik secara signifikan. Contohnya, Sub Zona Perum WIKA mengalami penurunan NRW dari 29,98% menjadi 15,78%.

Kedua, DMA mempermudah proses identifikasi dan isolasi kebocoran, serta meningkatkan akurasi pemantauan distribusi air dan konsumsi pelanggan. Sistem ini memungkinkan deteksi dini kebocoran dan respons perbaikan yang lebih cepat dan terarah..

Ketiga, Analisis regresi linier berganda menunjukkan bahwa variabel jumlah DMA aktif dan respons teknis terhadap kebocoran secara statistik berpengaruh signifikan terhadap tingkat NRW, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi.

Keempat, Nilai Infrastructure Leakage Index (ILI) sebagai indikator efisiensi manajemen kebocoran menunjukkan perbaikan setelah implementasi DMA. Penurunan ILI mencerminkan keberhasilan sistem dalam mengelola kehilangan air fisik.

Kelima, Kendala dalam implementasi DMA masih ditemukan, antara lain keterbatasan SDM, infrastruktur lama, dan minimnya pemanfaatan teknologi digital. Optimalisasi sistem perlu didukung oleh penguatan manajemen data, pelatihan personel, dan kebijakan kelembagaan yang mendukung.

Berdasarkan kesimpulan di atas, beberapa saran strategis yang dapat diajukan untuk keberlanjutan pengendalian kehilangan air di PTMB adalah sebagai berikut:

1. Perluasan cakupan DMA secara bertahap di seluruh zona distribusi, disertai dengan pemasangan perangkat pengukuran digital seperti flowmeter magnetic dan pressure logger berbasis Internet of Things (IoT)
2. Penguatan kapasitas sumber daya manusia melalui pelatihan teknis rutin, khususnya dalam teknik deteksi kebocoran, pengolahan data distribusi, dan pengelolaan neraca air
3. Integrasi sistem informasi manajemen air berbasis data real-time untuk pemantauan tekanan, aliran, dan konsumsi air secara dinamis
4. Evaluasi berkala terhadap efektivitas sistem DMA menggunakan indikator kinerja seperti NRW, ILI, dan volume air terselamatkan, sebagai dasar pengambilan keputusan strategis
5. Sinergi antara aspek teknis dan kebijakan kelembagaan sangat diperlukan untuk memastikan keberlanjutan program pengendalian kehilangan air sebagai bagian dari pelayanan public yang efisien dan berkeadilan.

DAFTAR PUSTAKA

- Farley, M., & Trow, S. (2003). *Losses in water distribution networks: A practitioner's guide to assessment, monitoring and control*. IWA Publishing.
- International Water Association. (2000). *Performance Indicators for Water Supply Services*. IWA Publishing.
- Lambert, A. (2002). International report: Water losses management and techniques. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(4), 1–20.
- Lambert, A., Brown, T. G., Takizawa, M., & Weimer, D. (1999). A review of performance indicators for real losses from water supply systems. *Aquater*, 48(6), 227–237.
- McKenzie, R. S., & Seago, C. J. (2005). *Assessment of Real Losses in Potable Water Distribution Systems: Some Recent Developments* (WRC Report No. TT 251/05). Water Research Commission.
- Montgomery, D. C., & Runger, G. C. (2014). *Applied statistics and probability for engineers* (6th ed.). Wiley.
- Trifunović, N. (2006). *Introduction to Urban Water Distribution*. Taylor & Francis.
- Tirta Manuntung Balikpapan. (2024). *Laporan Neraca Air dan Evaluasi NRW Februari 2024*. Dokumen internal PTMB (tidak dipublikasikan).