Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i2.507

RESEARCH ARTICLE

OPEN ACCESS

Check for updates

EVALUASI TEKNIS KEHILANGAN AIR MINUM DI PERUMDAM KOTA MAGELANG: STUDI KASUS PADA DISTRICT METERED AREA (DMA) PERUM KORPRI

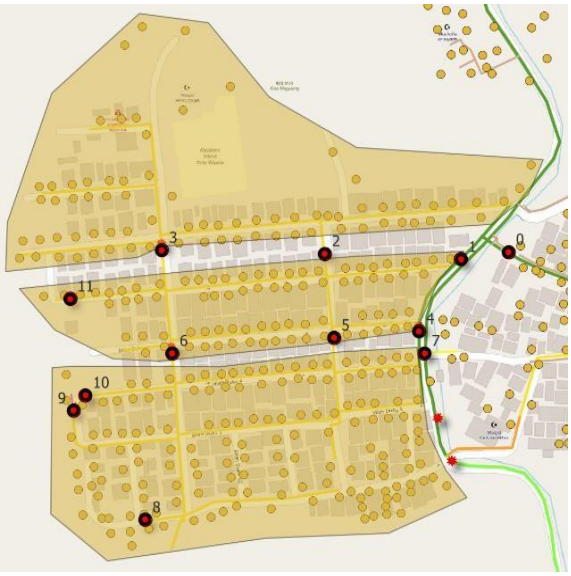
Ekadhana Chana Pratama[1,2)], Ervin Nurhayati[1*)], dan Dian Suci Hastuti[2)]

[1)]Department of Environmental Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia
[2)]Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia

Article history
Received
01 Augst 2025
Received in revised form
30 Okt 2025
Accepted
30 Okt 2025
Published online
8 December 2025

*Corresponding author
ervin@enviro.its.ac.id

Graphical abstract



ABSTRAK

Tingginya tingkat kehilangan air minum atau *non-revenue water* (NRW) menjadi tantangan utama dalam pengelolaan sistem penyediaan air minum di Perumdam Kota Magelang, khususnya pada *District Metered Area* (DMA) Perum Korpri yang mencatat kehilangan sebesar 56,16% dari total volume input 171.770 m3 per tahun. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi aspek teknis kehilangan air dan merumuskan strategi penurunan NRW berbasis teknologi *Internet of Things* (IoT). Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data primer dan sekunder, analisis neraca air dengan *WB-Easy Calc*, serta simulasi hidrolis jaringan menggunakan EPANET 2.2. Evaluasi dilakukan terhadap tekanan jaringan, fluktuasi pemakaian, dan akurasi meter air. Hasil menunjukkan bahwa tekanan tinggi pada jam minimum berkontribusi signifikan terhadap kebocoran fisik. Strategi penanganan yang diusulkan meliputi pelaksanaan step-test, pemasangan *Pressure Reducing Valve* (PRV), kalibrasi meter induk, dan penerapan sistem SCADA berbasis IoT untuk pemantauan real-time. Implementasi teknologi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi operasional dan memperpanjang umur jaringan distribusi air minum.

Kata Kunci: DMA, EPANET, IoT, kehilangan air, SCADA.

Copyright ©2026 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, All rights reserved

Corresponding Author: Ervin Nurhayati

ervin@enviro.its.ac.id

Department of Environmental Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya 60111, Indonesia

1. PENDAHULUAN

Penyediaan air minum merupakan kebutuhan dasar yang vital bagi kehidupan masyarakat dan pembangunan ekonomi, terutama di wilayah-wilayah perkotaan di Indonesia yang pengelolaannya dilakukan oleh perusahaan umum milik daerah (Perumdam). Salah satu tantangan utama dalam distribusi air minum adalah tingginya tingkat kehilangan air atau non-revenue water (NRW), yakni air yang diproduksi namun tidak menghasilkan pendapatan akibat kebocoran, pencurian, atau kesalahan pencatatan meter, yang di negara berkembang dapat melebihi 30% (World Bank, 2006). Untuk mengatasi hal ini, pendekatan teknis seperti District Metered Area (DMA) digunakan, yaitu pembagian jaringan distribusi ke dalam zona-zona terukur yang memungkinkan deteksi kebocoran, analisis konsumsi, dan pengelolaan tekanan secara lebih efektif (American Water Works Association, 2020). Li et al. (2024) juga melaporkan bahwa penerapan DMA yang dikombinasikan dengan manajemen tekanan melalui katup pengurang tekanan (PRV) secara signifikan dapat mengurangi kebocoran dan konsumsi energi dalam sistem distribusi air. Pemerintah Republik Indonesia melalui RPJMN 2025–2029 menetapkan target penurunan tingkat kehilangan air (Non-Revenue Water/NRW) menjadi 25% pada tahun 2027 dan 20% pada tahun 2030. Namun demikian, berdasarkan Buku Rencana Bisnis Perumdam Kota Magelang 2024–2028, tingkat NRW pada akhir tahun 2023 masih mencapai 53,72%, jauh di atas target nasional. Dari 18 District Metered Area (DMA) yang telah dibentuk, hanya 8 di antaranya yang memiliki jaringan terisolasi. Penelitian ini difokuskan pada DMA Perum Korpri yang mencatat tingkat kehilangan air sebesar 56,16%. Pemilihan lokasi ini juga didasarkan pada sejumlah pertimbangan teknis, antara lain jaringan perpipaan yang telah terisolasi, meter induk yang berfungsi dengan baik, jumlah sambungan rumah terbanyak di antara DMA terisolasi (310 SR), serta statusnya sebagai bagian dari Zona Air Minum Prima (ZAMP), sehingga potensi kerugian akibat kehilangan air di wilayah ini dinilai signifikan.

Hasna dan Purnomo (2024) menyebutkan bahwa metode step-test merupakan teknik yang efektif digunakan untuk mendeteksi kehilangan air fisik secara lebih akurat dalam sistem distribusi air minum. Pengujian dilakukan pada jam minimum konsumsi, biasanya dini hari, ketika penggunaan air oleh pelanggan sangat rendah. Dalam kondisi ini, aliran air yang tetap terdeteksi di jaringan dapat diasumsikan sebagai indikasi kebocoran. Untuk menganalisis kehilangan air secara akurat, diperlukan data lengkap seperti konsumsi pelanggan, usia jaringan, jumlah sambungan, dan kualitas instalasi. Data ini memungkinkan penyusunan neraca air menggunakan WB-Easy Calc dalam mengidentifikasi sumber kehilangan (Beratha et al., 2022). Berdasarkan latar belakang tersebut, perlu adanya analisis evaluasi kehilangan air minum di Perumdam Kota Magelang khususnya pada DMA Perum Korpri dari aspek teknis agar pelanggan dapat terlayani dengan baik dan terjadi penurunan tingkat NRW.

2. METODE

A. Pengumpulan Data Primer

Untuk mendukung keakuratan analisis dan simulasi jaringan menggunakan aplikasi EPANET 2.2, dilakukan pengumpulan data primer sebagai berikut:

a.) Pengukuran fluktuasi pemakaian air tiap jam yang telah dilaksanakan pada tanggal 06 s.d. 07 Mei 2025 (selama 24 jam) melalui pembacaan meter induk DMA;

b.) Pemantauan tekanan jaringan pada manometer terpasang. Data ini digunakan sebagai validasi terhadap hasil simulasi EPANET. Kegiatan pembacaan manometer ini telah dilaksanakan pada tanggal 29 April 2025;
c.) Diskusi dan wawancara langsung dengan pihak Perumdam Kota Magelang untuk memperoleh informasi mengenai: Konsumsi resmi tak berekening dan Konsumsi tak resmi pada DMA Perum Korpri. Kegiatan ini dilaksanakan mulai dari tanggal 17 Februari s.d. 17 Mei 2025.

B. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen teknis dan catatan operasional milik Perumdam Kota Magelang, yang meliputi:

a) Peta jaringan distribusi terpasang (As-built Drawing) dalam format GIS;
b) Data pemakaian pelanggan dari hasil pembacaan meter air oleh petugas;
c) Data harian pembacaan meter induk DMA;
d) Hasil pelaksanaan uji akurasi meter air pada SR di DMA Perum Korpri maupun sekitarnya
e) Data pemantauan tekanan yang dilakukan pada tingkat sambungan rumah (SR).

C. Analisis Data

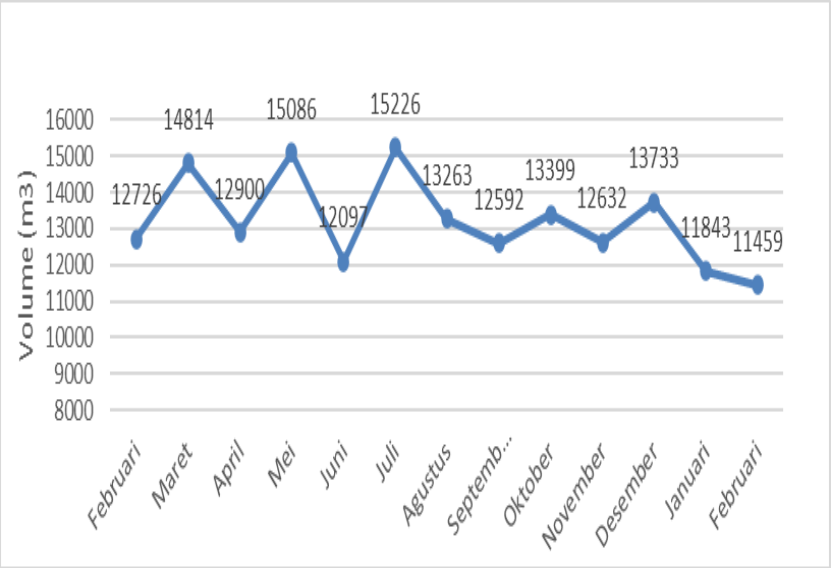
Neraca air digunakan dalam menganalisis kehilangan air pada DMA Perum Korpri dengan memetakan volume sistem berdasarkan data input, konsumsi resmi dan tak resmi, serta ketidakakuratan meter. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Water Balance Easy Calc untuk mengidentifikasi sumber utama kehilangan air, baik fisik maupun non-fisik. Analisis hidrolis jaringan distribusi pada DMA Perum Korpri dilakukan menggunakan EPANET 2.2 dengan 3 (tiga) skenario: debit rata-rata (normal), debit minimum, dan debit maksimum. Tujuan analisis ini adalah untuk mengevaluasi aspek hidrolis, khususnya tekanan dalam pipa, yang berpotensi menyebabkan kehilangan air. Tekanan yang terlalu tinggi atau tidak stabil dapat memicu kebocoran, terutama pada jaringan pipa yang sudah tua atau tidak dirancang untuk beban maksimum. Berdasarkan hasil analisis neraca air dan simulasi hidrolis pada jaringan distribusi DMA Perum Korpri, langkah selanjutnya difokuskan pada penyusunan upaya penurunan kehilangan air. Fokus diarahkan pada identifikasi dan pengendalian sumber kehilangan utama, baik fisik maupun non-fisik, serta evaluasi karakteristik hidrolis seperti tekanan dan pola pemakaian. Pengelolaan tekanan menjadi aspek penting karena berpengaruh langsung terhadap risiko kebocoran dan kerusakan jaringan. Dengan pemahaman menyeluruh terhadap kondisi sistem, strategi penanganan diharapkan dapat disusun secara tepat sasaran dan berkelanjutan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kondisi Eksisting

Perumdam Kota Magelang secara keseluruhan memiliki penambahan jumlah SR yang tidak signifikan, sebesar 1,21% per tahun mengacu pada Buku Kinerja BUMD Air Minum Tahun 2024. Sehingga proyeksi kebutuhan air minum dapat diabaikan dan dinilai cukup dengan melakukan analisis serta simulasi menggunakan data eksisting sebagai gambaran untuk kondisi kebutuhan satu atau dua tahun ke depan. Berdasarkan data pembacaan meter induk DMA Perum Korpri, didapatkan

volume input rata-rata sebesar 13.213 m^3 setiap bulannya. Untuk lebih jelas mengenai pemakaian air pada DMA Perum Korpri dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Volume Input Sistem (Meter Induk) DMA Perum Korpri Tahun 2023 – 2024.
*Sumber: Diolah dari data Perumdam Kota Magelang 2023 – 2024.

Untuk mendapatkan nilai kehilangan air, volume input sistem pada Gambar 1 selanjutnya akan dibandingkan dengan pembacaan rill pada meter sambungan rumah oleh petugas pembaca meter. Berdasarkan data pembacaan tersebut, diketahui bahwa rata-rata pemakaian rill yang tercatat pada meteran sambungan rumah di DMA Perum Korpri sebesar 5.793 m^3/bulan. Setelah mendapatkan nilai volume input dan pemakaian rill pelanggan, maka didapatkan nilai kehilangan air melalui persamaan (1).

$$\%NRW = \frac{Vinput - Vrill\ pelanggan\ m^3}{Volume\ input\ m^3} \times 100\% \quad (1)$$

Adapun hasil perhitungan lengkap nilai kehilangan air pada DMA Perum Korpri disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kehilangan Air Eksisting di DMA Perum Korpri Tahun 2023 – 2024

Bulan	Pem. Rill (m^3)	Meter DMA (m^3)	Kehilangan Air (m^3)	Kehilangan Air (%)
Februari	5.359	12.726	7.367	57,89%
Maret	5.736	14.814	9.078	61,28%
April	5.836	12.900	5.623	49,07%
Mei	5.838	15.086	9.248	61,30%
Juni	6.081	12.097	6.016	49,73%
Juli	5.593	15.226	9.633	63,27%
Agustus	5.201	13.263	8.062	60,79%

Bulan	Pem. Rill (m^3)	Meter DMA (m^3)	Kehilangan Air (m^3)	Kehilangan Air (%)
September	6.117	12.592	6.475	51,42%
Oktober	5.815	13.399	7.584	56,60%
November	6.495	12.632	6.137	48,58%
Desember	5.560	13.733	8.173	59,51%
Januari	6.066	11.843	5.777	48,78%
Februari	5.610	11.459	5.849	51,04%
Total	**75.307**	**171.770**	**96.463**	-
Rata-rata	**5.793**	**13.213**	**7.420**	**56,16%**

Sebagai informasi tambahan, melalui survey langsung di lapangan didapatkan kondisi eksisting jaringan yang ada di DMA Perum Korpri antara lain:

- Meter Induk tipe mekanis dengan pembacaan manual.
  Pembacaan meter induk DMA dilakukan secara manual oleh petugas pada hari kerja, sehingga tidak dapat diketahui kondisi jaringa secara real-time. Meter induk yang digunakan ialah meter air mekanis dengan merk Itron yang memiliki kemampuan pembacaan hingga 60 m3/jam (16,7 l/s).
- Jaringan Pipa pada DMA menggunakan pipa diameter 50 mm dan 75 mm.
  Informasi diameter pipa digunakan dalam simulasi EPANET 2.2 maupun analisis hidrolis secara manual. Pipa utama setelah meter induk menggunakan pipa PVC diameter 75 mm dan jaringan pelayanan DMA menggunakan pipa PVC diameter 50 mm.
- Tidak memiliki Pressure Reducing Valve (PRV).
  Simulasi EPANET 2.2 menghasilkan informasi mengenai sisa tekanan pada titik-titik jaringan pipa. Tekanan berlebih, khususnya pada saat aliran minimum di malam hari, berpotensi meningkatkan kehilangan air. Penerapan kecepatan aliran yang optimal.
- Memiliki Unit Penunjang untuk Zona Air Minum Prima (ZAMP).
  Pada DMA sudah terpasang beberapa kelengkapan untuk pelayanan ZAMP antara lain unit injeksi klorin, RCA (residual chlorine analyzer), dan kran air siap minum. Hal ini merupakan investasi awal yang cukup membantu dalam penerapan sistem monitoring berbasis IoT secara real-time.
- Memiliki beberapa katup aliran (valve) yang telah terpasang.
  Perencanaan step-test sangat bergantung pada pengaturan buka-tutup valve yang tersedia. Valve eksisting berperan penting dalam memudahkan isolasi zona tanpa menambah investasi baru. Selain mendukung efisiensi pelaksanaan step-test, keberadaan valve juga bermanfaat saat terjadi gangguan atau perbaikan kebocoran, karena memungkinkan pengendalian aliran air secara lokal tanpa mengganggu distribusi keseluruhan. Oleh karena itu, pemetaan dan pengecekan kondisi valve eksisting menjadi langkah awal penting sebelum pelaksanaan step-test. Validasi ini juga membantu memastikan efektivitas dalam pelaksanaan di lapangan.

Visualisasi GIS untuk kondisi eksisting jaringan perpipaan DMA Perum Korpri berdasarkan data asbuilt drawing yang telah disesuaikan dengan hasil survey di lapangan disajikan pada Gambar 2.

B. Fluktuasi Pemakaian

Fluktuasi pemakaian air minum adalah variasi jumlah konsumsi air oleh pelanggan dalam suatu periode waktu tertentu. Pola konsumsi ini biasanya dikategorikan ke dalam kebutuhan harian rata-rata, kebutuhan harian maksimum, dan kebutuhan jam puncak. Ketiga kategori ini digunakan sebagai dasar dalam perencanaan kapasitas sistem distribusi dan penyimpanan air (Marcell et al., 2022).



Gambar 2. Fluktuasi Pemakaian Air di DMA Perum Korpri.
*Sumber: Survey Lapangan

Berdasarkan hasil pengukuran tiap jam didapatkan debit rata-rata harian sebesar 3,86 l/s (termasuk nilai kehilangan air) denga faktor jam puncak sebesar 1,34 dan faktor jam minimum sebesar 0,62. Hasil pengukuran menunjukkan dua puncak konsumsi air, yaitu pukul 08.00 dan 17.00, yang mencerminkan aktivitas pagi dan sore hari masyarakat. Jam minimum terjadi antara pukul 21.00 hingga 03.00, mengindikasikan bahwa mayoritas pelanggan di DMA Perum Korpri berasal dari golongan rumah tangga. Adapun hasil pemantauan fluktuasi pemakaian air di DMA Perum Korpri dapat dilihat pada Gambar 3. Data fluktuasi pemakaian air juga akan dibutuhkan pada saat simulasi jaringan di EPANET, penentuan operasional PRV/pompa, dan penentuan waktu pelaksanaan step-test.



Gambar 3. Jaringan Perpipaan Eksisting DMA Perum Korpri.
**Sumber: Diolah dari data Perumdam Kota Magelang.*

C. Analisis Hidrolis Jaringan DMA

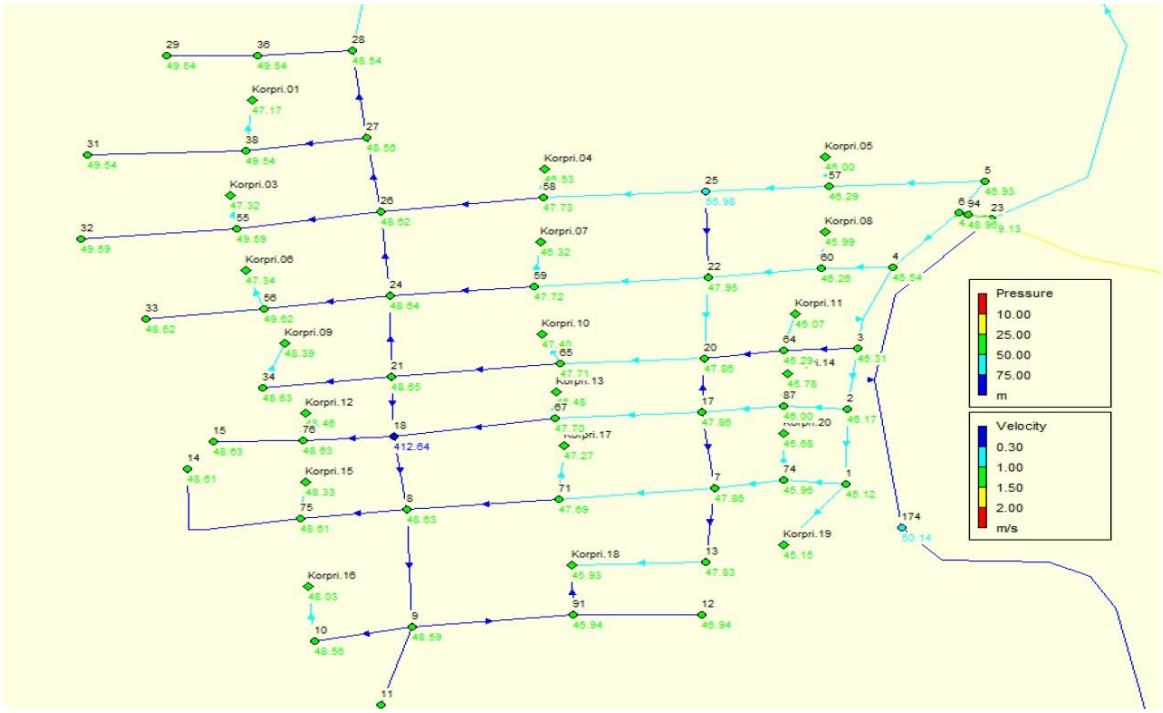
DMA Perum Korpri masuk ke dalam pelayanan Perumdam Kota Magelang zona utara. Zona ini mendapatkan suplai air dari Sumber MA. Kalimas I dan MA. Kalimas II dengan jarak ±11 Km dari DMA Perum Kopri yang berada pada elevasi +474 mdpl. Berdasarkan informasi peta GIS dan mengacu pada kondisi eksisiting jaringan yang ada di lapangan, kriteria hidrolis yang digunakan untuk simulasi EPANET pada DMA Perum Korpri ditetapkan sebagai berikut:

- Satuan yang digunakan adalah *liter per second* dengan teori dasar persamaan *Hazen-Williams*
- Analisis dilakukan selama 24 jam menggunakan pola fluktuasi kebutuhan (demand pattern) seperti pada Gambar 3;
- Nilai kebutuhan air (base demand) sebesar 0,00834 l/s per SR (720 liter per SR per hari) mengacu pada hasil analisis data pemakaian air seluruh pelanggan (32.861 SR) yang terdaftar di Perumdam Kota Magelang;
- Dalam menggambarkan nilai kebocoran air, digunakan koeffisien emitter senilai 0,0271 (berdasarkan: nilai kehilangan air fisik Perumdam Kota Magelang sebesar 54,16%, rata-rata tekanan harian sebesar 32 meter, dan pendekatan jumlah emitter sebanyak 20 titik blok pelanggan);
- Analisis jaringan dilakukan dalam satu kesatuan dengan seluruh jaringan pelayanan zona utara yang telah divalidasi dengan pembacaan manometer di lapangan. Manometer acuan yang digunakan pada jembatan pipa jaringan utama MA Kalimas koordinat -7,4524348; 110,2281995 dengan hasil pembacaan 3 – 4 bar (hasil simulasi pada titik dan waktu yang sama sebesar 36 m); dan

Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i2.507

- Estimasi tingkat kesalahan data dalam pengukuran dan penginputan untuk data panjang maupun elevasi sebesar ± 2%.

Sebelum dilakukan simulasi, langkah awal yang dilakukan adalah memasukkan data utama jaringan ke dalam EPANET, meliputi data peta jaringan, panjang dan diameter pipa, elevasi, serta data kebutuhan air pada masing-masing node. Setelah seluruh data terinput dan diverifikasi, dilakukan proses simulasi hidrolis. Hasil analisis hidrolis berdasarkan simulasi EPANET tersaji pada Tabel 2 dan Gambar 4.



Gambar 4. Simulasi EPANET pada pemakaian Jam Minimum (pkl 24.00)
**Sumber: Simulasi EPANET*

Mengacu pada Tabel 2, untuk DMA Perum Korpri dapat diketahui bahwa pada jam rata-rata total pemakaian air rill oleh pelanggan sebesar 2,59 l/s namun total air yang keluar melalui jaringan sebesar 5,80 l/s atau dengan kata lain kehilangan air sebesar 3,21 l/s (55,34%). Dengan analisis yang sama, didapatkan nilai kehilangan air pada jam pemakaian puncak sebesar 2,51 l/s (41,96%) dan kehilangan air pada jam pemakaian minimum sebesar 3,21 l/s (70,48%). Pada aspek tekanan, pada jam pemakaian normal didapatkan hasil rata-rata sebesar 33 m. Sedangkan pada jam pemakaian puncak rata-rata tekanan sebesar 24,41 m, dan jam pemakaian minimum sebesasr 46,80 m.

Berdasarkan data-data tersebut semakin menegaskan bahwa tingkat kehilangan air yang hilang berbanding lurus dengan tekanan aliran di dalam jaringan. Tekanan tinggi pada jam minimum menunjukkan bahwa sistem distribusi mengalami overpressure saat konsumsi rendah. Hal ini berpotensi menyebabkan kebocoran mikro yang tidak terdeteksi secara visual, terutama pada sambungan pipa tua atau titik lemah jaringan. Oleh karena itu, strategi manajemen tekanan seperti pemasangan PRV sangat krusial untuk menurunkan tekanan saat jam minimum dan mengurangi kehilangan air fisik.

This journal is © Pratama et al., 2025

Tabel 2. Hasil Simulasi hidrolis DMA Perum Korpri pada pemakaian jam normal, minimum, dan puncak.

Node ID	*Rill Demand*	*Actual Demand*	*Pressure*	*Rill Demand*	*Actual Demand*	*Pressure*	*Rill Demand*	*Actual Demand*	*Pressure*
	Normal (K = 1,00 ; pkl 13.00)			Minimum (K = 0,62 ; pkl 24.00)			Puncak (K = 1,34 ; pkl 08.00)		
	(L/s)	(L/s)	m	(L/s)	(L/s)	m	(L/s)	(L/s)	m
Korpri 01	0,11	0,27	33,32	0,07	0,26	47,10	0,15	0,28	24,74
Korpri 02	0,08	0,24	33,92	0,05	0,24	47,68	0,11	0,24	25,36
Korpri 03	0,13	0,29	33,46	0,08	0,27	47,25	0,17	0,30	24,87
Korpri 04	0,14	0,30	32,68	0,09	0,28	46,45	0,19	0,31	24,10
Korpri 05	0,18	0,34	32,18	0,11	0,30	45,93	0,24	0,36	23,61
Korpri 06	0,10	0,26	33,50	0,06	0,25	47,27	0,13	0,26	24,93
Korpri 07	0,16	0,32	32,42	0,10	0,29	46,25	0,21	0,34	23,81
Korpri 08	0,12	0,28	32,20	0,07	0,26	45,92	0,16	0,29	23,66
Korpri 09	0,04	0,20	34,59	0,02	0,22	48,32	0,05	0,19	26,05
Korpri 10	0,17	0,33	33,51	0,11	0,30	47,33	0,23	0,35	24,91
Korpri 11	0,08	0,24	32,32	0,05	0,24	45,99	0,11	0,23	23,80
Korpri 12	0,08	0,24	34,63	0,05	0,24	48,39	0,11	0,24	26,07
Korpri 13	0,15	0,31	32,62	0,09	0,29	46,41	0,20	0,32	24,03
Korpri 14	0,10	0,26	31,99	0,06	0,25	45,71	0,13	0,26	23,44
Korpri 15	0,12	0,28	34,47	0,07	0,27	48,26	0,16	0,29	25,88
Korpri 16	0,18	0,35	34,06	0,11	0,31	47,96	0,24	0,37	25,40
Korpri 17	0,13	0,29	33,39	0,08	0,27	47,20	0,17	0,30	24,79
Korpri 18	0,19	0,35	31,90	0,12	0,31	45,86	0,25	0,37	23,20
Korpri 19	0,25	0,41	31,04	0,16	0,35	45,08	0,34	0,45	22,27
Korpri 20	0,08	0,24	31,89	0,05	0,24	45,61	0,11	0,23	23,35
Jumlah / Rerata*	**2,59**	**5,80**	**33,00***	**1,61**	**5,44**	**46,80***	**3,47**	**5,98**	**24,41***
Air Hilang	**3,21**	**55,34%**		**3,83**	**70,84%**		**2,51**	**41,96%**	

D. Neraca Air DMA Perum Korpi

Kehilangan air fisik adalah air yang hilang dari sistem distribusi akibat kebocoran pipa, sambungan yang rusak, dan limpasan dari tangki penyimpanan. Air ini tidak pernah sampai ke pelanggan dan tidak dapat ditagih. Kehilangan air non-fisik adalah air yang secara teknis sampai ke pelanggan tetapi tidak tercatat atau tidak ditagih dengan benar yang biasanya terjadi akibat kurangnya sistem monitoring dan verifikasi data pelanggan yang akurat (Hanggara et al., 2024).

Pada studi kasus DMA Perum Korpri setalah dilakukan pengamatan lapangan, analisis data dan laporan internal perusahaan, serta wawancara kepada pihak Perumdam Kota Magelang didapatkan komponen neraca air sebagai berikut:

- Volume Input Sistem.

pipa dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q = C_d \,.\, A.\sqrt{2gh} \qquad (2)$$

$$V = Q \,.\, t \qquad (3)$$

Volume input pada DMA Perum Korpri didapatkan melalui pencatatan harian terhadap meter induk DMA. Didapatkan hasil sebesar 171.770 m3 dalam satu tahun dengan margin of error sebesar 2%.

Mengacu pada catatan kebocoran milik Perumdam Kota Magelang, terdapat 2 (dua) kali perbaikan pipa dinas bocor dan 1 (satu) kali perbaikan meter pelanggan pada DMA Perum Korpri sepanjang tahun 2024. Berdasrkan data tersebut dan perhitungan menggunakan persamaan (2) dan (3) diperkirakan besaran kehilangan air sebesar 16,36 m3 (data perhitungan: asumsi diameter bocor (d) 2 mm, tekanan rata-rata jaringan (h) 32 m, rata-rata waktu penyelesaian t = 2 hari, Cd = 0,65)

- Konsumsi Resmi Berekening.

Konsumsi resmi berekening didapatkan melalui hasil pembcaan meter pelanggan yang dilakukan oleh petugas pembaca meter. Pada DMA Perum Korpri didapatkan volume total pemakaian rill pelanggan selama satu tahun sebesar 75.307 m3 (tidak ditemukan adanya konsumsi tak bermeter - berekening).

- Konsumsi Resmi Tak Berekening.

Kelompok data konsumsi resmi tak berekening terdiri dari data konsumsi resmi baik yang bermeter maupun yang tak bermeter. Data-data tersebut antara lain kebocoran pipa, kehilangan saat perbaikan meter, dan penjualan air tanpa melalui perpipaan. Perhitungan besasran nilai kehilangan air yang terjadi melalui bocoran

- Konsumsi Tak Resmi

Berdasarkan catatan milik Perumdam Kota Magelang tidak ditemukan adanya konsumsi tak resmi pada DMA Perum Korpri, baik berupa penyambungan tak resmi maupun bypass, dan tempering meter oleh pelanggan resmi.

- Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data

Kelompok data ini merupaka jumlah kehilangan air yang diakibatkan oleh jumlah meter air yang bermasalah (meter macet, akurasi lebih dari 10%, dll) dan estimasi besaran volume yang salah catat (rumah kosong, terkunci, meter terpendam, dll). Sepanjang 2024 berdasarkan catatan Perumdam didapatkan persentase meter air bermasalah sebesar 3,3% dan estimasi kehilangan air akibat meter salah catat terjadi pada 23 Sambungan Rumah (data rumah kosong, terkunci, meter terpendam, dll di DMA Perum Korpri).

- Network, Pressure, dan Financial Data

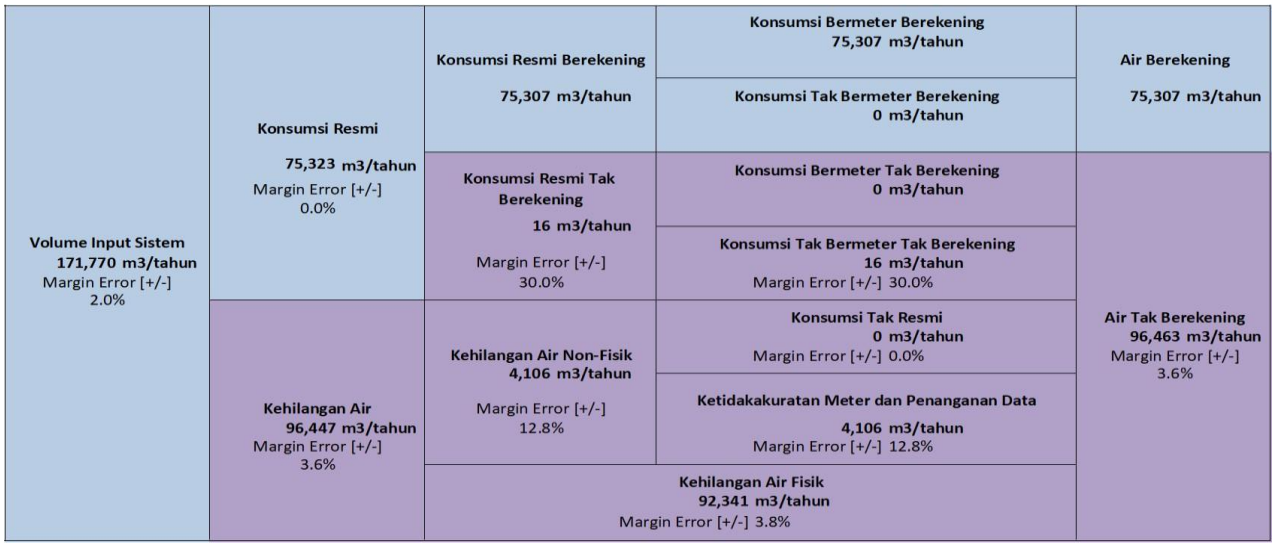
Berdasarkan data GIS, DMA Perum Korpri terdiri dari pipa diameter 75 mm sepanjang 150 meter dan pipa diameter 50 mm sepanjang 2078 meter. Mengacu pada hasil simulasi EPANET, tekanan rata-rata pada titk sambungan rumah di DMA Perum Korpri dan wilayah sekitarnya berada pada rata-rata 2 - 3 bar. Sedangkan mengacu pada Buku Kinerja BUMD Air Minum 2024 untuk tarif rata-rata air sebesar Rp. 4.194,-/m^3 dan tarif distribusi sebesar Rp. 356,-/m^3

Setalah data-data utama didapatkan, analisis kehilangan air dihitung menggunakan aplikasi WB-Easy Calc dengan hasil yang tersaji pada Tabel 3

This journal is © Pratama et al., 2025

Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i2.507

Tabel 3. Neraca Air pada DMA Perum Korpri Tahun 2024



* *Sumber: Diolah dari Data Perumdam Kota Magelang*

E. Rencana Penanganan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, berikut disajikan beberapa rencana penanganan yang dapat diterapkan untuk menurunkan tingkat kehilangan air di DMA Perum Korpri antara lain:

a. Pelaksanaan step-test dan pencarian kebocoran aktif.

Tingginya nilai kehilangan air fisik pada DMA Perum Korpri mengindikasikan bahwa sebagian besar air hilang di sepanjang jaringan pipa namun tidak tampak atau terlaporkan oleh pelanggan (tidak terdeteksi). Sebagai upaya mencari lokasi titik kebocoran pada jaringa pipa, dapat dilakukan menggunakan step-test. Menurut World Bank Institute (2007), step-test sebaiknya dilakukan secara berkala di setiap zona distribusi (DMA), idealnya satu hingga dua kali per tahun. Pelaksanaan steptest pada zona dengan tingkat kehilangan air tinggi, frekuensinya perlu ditingkatkan untuk mendukung deteksi dan pengendalian kebocoran yang lebih efektif. Perumdam Kota Magelang terakhir kali melaksanakan step-test di DMA Perum Korpi pada tanggal 15 Juni 2023 (dua tahun lalu), sehingga dinilai perlu melaksanakan kembali step-test dan dijadwalkan secara periodik untuk kedepannya.

Beratha et al. (2022) menjelaskan bahwa step-test idealnya dilakukan saat pemakaian air minimum, yaitu antara pukul 00.00–02.00. Berdasarkan analisis fluktuasi pemakaian di DMA Perum Korpri yang tersaji pada gambar 3, jam minimum aktual terjadi pada pukul 23.00 – 01.00 dini hari. Dengan mempertimbangkan kondisi jaringan dan jumlah valve yang tersedia, pembagian sub-area untuk pelaksanaan step-test di DMA Perum Korpri disajikan pada Gambar 5. Adapun format panduan dan pencatatan hasil pengukuran dapat mengacu pada contoh blanko pada Tabel 4.

Tabel 4. Blanko step-Test DMA Perum Korpri

Step	Status Valve												Hasil Pembacaan di WM Induk		Keterangan	Waktu Pengamatan
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Debit	Tekanan		
Step-0	C	O	O	O	O	O	O	C	C	C	C	C	0	Po	Benchmark	30 Menit
Step-1	O	O	O	O	O	O	O	C	C	C	C	C	X	Px	SubArea 1 + 2 + 3	30 Menit

Journal Purifikasi
DOI: https://doi.org/10.12962/purifikasi.v24i2.507

Step	Status Valve												Hasil Pembacaan di WM Induk		Keterangan	Waktu Pengamatan
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Debit	Tekanan		
Step-2	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	Y	Py	SubArea 1 + 2	30 Menit
Step-3	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	Z	Pz	SubArea 1	30 Menit
Selesai	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	0	Po		
Selanjutnya dilakukan step untuk validasi																
Step-3	O	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	P	Pp	SubArea 1	30 Menit
Step-2	O	O	O	O	C	C	C	C	C	C	C	C	Q	Pq	SubArea 1 + 2	30 Menit
Step-1	O	O	O	O	O	O	O	C	C	C	C	C	R	Pr	SubArea 1 + 2 + 3	30 Menit
Selesai																

Sumber: Analisis Penulis



Gambar 5. Pembagian SubArea untuk pelaksanaan step-test.
Sumber: Analisis Penulis

b. Manajemen Tekanan

Studi oleh Puust et al. (2010) menyatakan bahwa kebocoran air meningkat secara eksponensial terhadap tekanan, terutama pada sistem pipa yang sudah tua atau tidak terawat. Berdasarkan simulasi hidrolis menggunakan EPANET 2.2 juga didapatkan bahwa nilai sisa tekanan meningkat pada saat terjadi aliran minimum (jam 21.00 s.d 03.00). Manajemen tekanan pada DMA Perum Korpri dapat dilakukan dengan mengaplikasikan PRV pada jaringan DMA yang operasionalnya dapat dilakukan secara manual maupun otomatis. Penerapan PRV yang tepat tidak hanya mengurangi tingkat kebocoran, tetapi juga memperpanjang umur infrastruktur jaringan distribusi air. Pada penelitian ini juga dilakukan simulasi jaringan menggunakan EPANET dengan skenario pemasangan PRV yang disajikan pada Tabel 5 berikut ini

Tabel 5. Pengaruh PRV terhadap penurunan nilai kehilangan air fisik dan sisa tekanan pada DMA Perum Korpri.

Pemakaian	Kehilangan Fisik (%)			Sisa Tekanan (m)		
	PRV off	PRV 2 Bar	PRV 1,5 Bar	PRV off	PRV 2 Bar	PRV 1,5 Bar
Rata-rata	55.34%	48.10%	44.54%	33.00	18.13	13.29
Puncak	70.48%	60.64%	57.29%	46.80	18.55	13.68
Minimum	41.96%	37.91%	34.39%	24.41	17.82	12.99

Sumber: Simulasi EPANET

Dengan memasang PRV, nilai kehilangan air dapat diturunkan secara signifikan. Penurunan terbesar untuk kehilanga air terjadi pada saat jam minimum sebesar 13,19% dengan pengaturan output PRV 1,5 Bar. Pemasangan PRV pada DMA juga dapat menjaga tekanan stabil pada saat jam minimum serta menjadikan usia pakai pipa akan lebih panjang.

c. Peningkatan Kecepatan Perbaikan

Menurut Hanggara et al. (2024), kecepatan perbaikan merupakan salah satu dari empat strategi utama dalam manajemen kebocoran. Semakin cepat kebocoran diperbaiki, semakin kecil volume air yang hilang.

d. Manajemen Basis Data

Meskipun bukan termasuk ke dalam aspek teknis, namun dengan manajemen basis data yang baik dan lengkap dapat membantu Perumdam dalam mengambil keputusan secara cepat dan tepat khususnya terhadap aset-aset yang menjadi pilar penting terhadap aspek teknis. Mulyana et al. (2025) menegaskan bahwa sistem informasi dan basis data yang dirancang secara sistematis dan terintegrasi mampu memperkuat proses pengambilan keputusan. Salah satu upaya manajemen basis data yang dapat dilakukan ialah mulai melakukan inventarisasi dan pencatatan berbasis DMA. Misal, menambahkan kolom nama DMA pada pencatatan daftar pelanggan, daftar pipa, daftar aksesoris, catatan kebocoran, dan data-data teknis lainnya. Hal ini akan memudahkan pengolahan dan pengambilan data langsung pada DMA yang difokuskan.

F. Optimalisasi Pengawasan DMA Menggunakan SCADA Berbasis IoT

SCADA adalah sistem yang mengintegrasikan pengolahan data untuk melakukan pengawasan, pengendalian, dan memperoleh informasi secara langsung dan realtime. SCADA mampu memantau aliran air dan mengidentifikasi lokasi kebocoran pada jaringan pipa distribusi melalui tampilan antarmuka HMI, sehingga kebocoran dapat terdeteksi lebih awal (Sundana et al., 2022). SCADA juga dapat diintegrasikan dengan sistem GIS untuk memvisualisasikan lokasi kebocoran atau gangguan secara geografis, memudahkan tim teknis dalam penanganan di lapangan (Aburawe, 2019). Dalam implementasi SCADA berbasis IoT di DMA Perum Korpri, terdapat beberapa alat dan komponen yang menunjang sistem agar dapat berfungsi secara optimal dalam pengawasan dan pengendalian jaringan perpipaan. Dengan tetap memperhatikan efisiensi penggunaan anggaran dan azas manfaat yang dapat diberikan, berikut adalah daftar alat-alat utama yang digunakan (Akbar et al., 2023):

a. Meter Induk dengan Data Logger

Meter induk pada DMA Perum Korpri saat ini belum mendukung penerapan SCADA. Dalam upaya menekan biaya investasi, meter induk eksisting dapat tetap digunakan namun perlu adanya tambahan berupa unit data logger.

b. Sensor IoT

DMA Perum Korpri telah memiliki satu unit Residual Chlorine Analyzer (RCA) dan pengukur kekeruhan yang diletakkan di titik terjauh dari input DMA. Dalam upaya mengoptimalkan sistem pengawasan pada DMA Perum Korpri, perlu ditambahkan sensor tekanan untuk mengukur tekanan secara realtime. Direkomendasikan agar dipasang 3 (tiga) unit sensor tekanan tersebar di area DMA setidak-tidaknya di titik input DMA, pertengahan jaringan, dan titik terjauh (titik kritis).

c. *Remote Terminal Unit* (RTU) dan *Progammable Logic Controller* (PLC)

Pompa dosis pada DMA Perum Korpri telah aktif digunakan namun pengaturannya dilakukan secara manual. Agar dapat mengatur pompa dosing secara otomatis dan diprogram sedemikian rupa, akan bereaksi terhadap peruabahan data yang dikirim oleh RTU dengan melakukan penyesuaian pada unit pompa dosis. Untuk tujuan keamanan, komponen ini perlu dilengkapi dengan aksesoris pengamanan dari hujan dan pencurian, sehingga disarankan untuk diletakkan di dalam unit rumah pompa eksisting.

d. Hardware dan Software penunjang

Tujuan akhir dari implementasi IoT - SCADA adalah terwujudnya sistem pengawasan, kontrol, dan akuisisi data yang berlangsung cepat, otomatis, dan realtime. Sehingga pemasangan software SCADA di kantor utama Perumdam Kota Magelang dinilai perlu direalisasikan (control room). Hardware yang diperlukan antara lain CPU, monitor, dan catu daya (sumber listrik). Sedangkan software yang dibutuhkan antara lain Gateway IoT, Cloud Platform/Server, dan Software SCADA itu sendiri.

4. KESIMPULAN

Kehilangan air di DMA Perum Korpri berdasarkan hasil neraca air menunjukkan bahwa rata-rata kehilangan air mencapai 56,16% atau sekitar 7.420 m^3 per bulan. Jika dikonversi ke nilai ekonomi dengan tarif rata-rata Rp 4.194/m^3, maka estimasi kerugian finansial mencapai lebih dari Rp 31 juta per bulan. Penelitian ini telah mengidentifikasi faktor teknis utama penyebab kehilangan air, yaitu tekanan berlebih pada jam minimum, ketidakakuratan meter air, serta belum optimalnya sistem pemantauan jaringan. Strategi teknis yang diusulkan meliputi penerapan sistem monitoring berbasis IoT melalui SCADA untuk pemantauan tekanan dan aliran secara real-time, pemasangan Pressure Reducing Valve (PRV) yang diproyeksikan mampu menurunkan kehilangan air fisik hingga 13,19%, serta pelaksanaan step-test berkala terkontrol secara remote (jarak jauh) maka diperlukan komponen tambahan berupa RTU dan PLC. RTU bertugas untuk menerima dan mengumpulkan data dari komponen sensor terpasang dan meneruskannya kepada PLC. Selanjutnya PLC yang telah untuk mendeteksi kebocoran tersembunyi. Selain itu, kalibrasi dan tera ulang meter induk serta peningkatan akurasi meter pelanggan juga menjadi bagian dari upaya pengendalian kehilangan air non-fisik.

Secara teknis, skenario ini dinilai layak diterapkan, namun tetap perlu mempertimbangkan kesiapan anggaran dan sumber daya operasional Perumdam Kota Magelang agar implementasi

dapat berjalan optimal dan berkelanjutan. Lebih jauh, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem distribusi air minum di Indonesia, khususnya dalam konteks pengelolaan NRW berbasis teknologi. Pendekatan integratif antara analisis hidrolis, neraca air, dan pemanfaatan teknologi digital seperti IoT dan SCADA dapat dijadikan model replikasi bagi Perumdam lain dalam mencapai target nasional penurunan NRW sebagaimana ditetapkan dalam RPJMN 2025–2029.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Kementerian Pekerjaan Umum atas program pendidikan dan dukungan pendanaan yang memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Selanjutnya, penulis juga menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak dari Perumdam Kota Magelang, khususnya bagian Teknik, serta kepada pengelola dan pelanggan Perumdam Kota Magelang di Perumahan Korpri atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini.

REFERENCES

Aburawe, S. (2019). GIS-SCADA integration for water utilities management: Benefits and challenges. Journal of Academic Research: Issue 13.

Akbar, D. F., Tambunan, G. F., Siringoringo, S. I. B., Warnata, R. N., Irawan, A., & Rozak, R. W. A. (2023). Implementasi dan perkembangan sistem SCADA di industri: Tinjauan dari sudut pandang pakar. Jurnal Pengabdian Masyarakat: Pemberdayaan, Inovasi dan Perubahan, 3(3), 122–128.

American Water Works Association. (2020). Water audits and loss control programs (5th ed.). AWWA Manual M36. Beratha, I. M., Eryani, I. G., & Sinarta, I. N. (2022). Evaluasi kehilangan air pada sistem distribusi Perumda Air Minum

Tirta Mangutama wilayah pelayanan Kuta dengan metode steptest. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 26(1), 17–25.

Hanggara, A. Y., Kurniawan, F., & Prawito, A. (2024). Analisis faktor fisik dan operasional jaringan distribusi air bersih yang mempengaruhi pola spasial titik kebocoran pipa pada kawasan industri PIER. Narotama Jurnal Teknik Sipil, 6(2), 1–10. https://www.researchgate.net/publication/379021204_Analisis_Faktor_Fisik_dan_Operasional_Jaringan_Distribusi_Air_Bersih_yang_Mempengaruhi_Pola_Spasial_Titik_Kebocoran_Pipa_pada_Kawasan_Industri_PIER

Hasna, S. & Purnomo, A. (2024). Kajian Kehilangan Air Perumda Delta Tirta pada District Meter Area (DMA) Shoji Land Cabang Porong. Jurnal Purifikasi: Vol 23 No. 1 (2024).

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2024). Buku Kinerja BUMD Air Minum Wilayah II. Jakarta: Ditjen Cipta Karya Kementerian PUPR.

Li, H., Shi, W., Chang, Z., Zhang, F., Cui, J., Lu, X., & Mao, L. (2025). Optimizing district metered areas and associated pressure reducing valves and pumping stations for effective and efficient management of water distribution network. Water Resources Management, 39(1), 379–396. https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-024-03974-x

Marcell, L., Hadisoebroto, R., & Tazkiaturrizki. (2022). Studi metode perhitungan fluktuasi pemakaian air di apartemen tanpa jam pemompaan. AJIE - Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship, 6(2), Mei 2022.

https://www.researchgate.net/publication/365794867_Studi_Metode_Perhitungan_Fluktuasi_Pemakaian_Air_di_Apartemen_Tanpa_Jam_Pemompaan

Mulyana, R. B., Riyadi, A. R., & Dhaipullah, D. (2025). Enterprise architecture dalam transformasi digital perbankan: Studi literatur sistematis menggunakan kerangka kerja TOGAF ADM. Jurnal Ilmu Komputer (JILKOMP), 1(1), 1–12.

Republik Indonesia. (2025). Peraturan Presiden Nomor 12 Tahun 2025 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2025–2029. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia. https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/Perpres-nomor-12-tahun-2025-Rencana-Pembangunan-Jangka-Menengah-Nasional-Tahun-2025-2029

Puust, R., Kapelan, Z., Savic, D. A., & Koppel, T. (2010). A review of methods for leakage management in pipe networks. Urban Water Journal, 7(1), 25–45. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1 080/15730621003610878

Sundana, T., Johari, F. A., & Al Ariiq, F. (2022). Prototipe sistem monitoring kebocoran pipa distribusi air berbasis SCADA. Jurnal Indonesia Sosial Teknologi, 3(1).

World Bank. (2006). The challenge of reducing non-revenue water (NRW) in developing countries. Washington, DC: World Bank Institute.

World Bank Institute. (2007). Leakage detection and control: Best practices manual. Washington, DC: WBI.