

ANALISIS KEHILANGAN AIR DENGAN METODE NERACA AIR DAN INFRASTRUCTURE LEAKAGE INDEX (ILI) PADA PERUMDA AIR MINUM KOTA SURAKARTA

WATER LOSS ANALYSIS USING THE WATER BALANCE AND INFRASTRUCTURE LEAKAGE INDEX (ILI) METHOD IN PERUMDA AIR MINUM KOTA SURAKARTA

Galih Iman Rakhmad¹, Adhi Yuniarto²

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya, 60111, Indonesia

E-mail: adhy@its.ac.id , galih.dwiarto@pu.go.id

ABSTRAK

Air tidak berekening merupakan permasalahan utama yang dihadapi Perumda Air Minum Kota Surakarta, dengan tingkat kehilangan air mencapai 42,37% pada tahun 2023. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengendalikan kehilangan air secara fisik dengan menggunakan metode neraca air dan Indeks Kebocoran Infrastruktur (Infrastructure Leakage Index). Data primer diperoleh melalui kunjungan lapangan dan pengukuran langsung, sedangkan data sekunder diperoleh dari Perusahaan Air Minum Kota Solo. Analisis neraca air dilakukan untuk mengetahui kehilangan air secara fisik, yang kemudian digunakan untuk menghitung ILI. Hasil penelitian menunjukkan volume penyaluran air sebanyak 24.270.430 meter kubik dan kehilangan air fisik sebanyak 9.669.609 meter kubik. Nilai ILI menggambarkan efektivitas pengelolaan jaringan distribusi dalam mengendalikan kehilangan air. Kesimpulan dari studi ini menyoroti pentingnya tindakan pengendalian bebas air dan mengurangi kebocoran/kehilangan air secara fisik untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas operasional pelayanan air minum di Kota Surakarta.

Kata kunci: Neraca Air, ILI, NRW

ABSTRACT

Non-revenue water is the main problem faced by Perumda Air Minum Kota Surakarta, with a water loss rate reaching 42.37% in 2023. This study aims to identify and control physical water loss using the water balance method and the Infrastructure Leakage Index. Primary data were obtained through field visits and direct measurements, while secondary data were obtained from the Solo City Drinking Water Company. Water balance analysis was carried out to determine physical water loss, which was then used to calculate the ILI. The results showed that the volume of water distribution was 24,270,430 cubic meters and physical water loss was 9,669,609 cubic meters. The ILI value illustrates the effectiveness of distribution network management in controlling water loss. The conclusion of this study highlights the importance of water-free control measures and reducing physical water leakage/loss to improve the efficiency and operational quality of drinking water services in Surakarta City.

Keywords: Water Balance, ILI, NRW

1. PENDAHULUAN

Permasalahan non-revenue water (NRW) atau air tak berekening (ATR) saat ini menjadi perhatian penting dalam pengelolaan pelayanan air bersih, tidak hanya di Indonesia namun juga secara global. Menurut makalah Bank Dunia pada tahun 2006, sekitar 35% air olahan yang masuk ke sistem jaringan distribusi hilang sebagai NRW dalam skala global. Di Indonesia, kisaran NRW bervariasi antara 20-70%, dengan tingkat kehilangan air Nasional sebesar 33,90% atau sebesar 1,74 Milyar m³, hal ini berarti potensi pendapatan hilang sebesar Rp 9,75 Triliun/Tahun menurut Kinerja BUMD Air Minum pada tahun 2023.

Salah satu indikator tidak efisiennya pengelolaan PDAM dapat terlihat dari tinggi NRW pada suatu sistem perpipaan PDAM. Sebaliknya, keberhasilan penurunan tingkat NRW merupakan indikasi keberhasilan penyediaan layanan. Hal ini karena dampak dari keberhasilan penurunan NRW dapat dikaitkan dengan pemanfaatan seluruh output layanan PDAM secara keseluruhan. Mulai dari peningkatan kualitas pelayanan (kuantitas, kualitas dan kontinuitas), peningkatan pendapatan operasional (efisiensi operasi, pengembalian investasi dan pendapatan operasional), hingga peningkatan kualitas perlindungan lingkungan dan akseptabilitas sosial. Oleh karena itu, keberhasilan penurunan tingkat NRW serta menjadikan kinerja penyediaan air minum yang aman dan terjangkau merupakan hasil dari praktik tata kelola perusahaan yang baik dari manajemen PDAM (Djamal Irzal, et.al, 2009).

Non Revenue Water (NRW) adalah salah satu masalah yang dialami oleh PDAM di Indonesia. Tingkat NRW yang cukup tinggi dialami oleh Perumda Air Minum Kota Surakarta. Sebagai penyelenggara Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) oleh Perusahaan Umum Daerah Air Minum perlu dipantau dan dievaluasi melalui suatu ukuran tingkat keberhasilan pengelolaan. Tingkat keberhasilan pengelolaan SPAM oleh PDAM dapat diukur melalui penilaian terhadap kinerjanya (Rofiq, 2018). Pada tahun 2023, volume air yang didistribusikan ke pelanggan sebesar 24.214.686 m³ dan telah dijual ke pelanggan sebesar 13.954.457 m³, sehingga terdapat NRW sebesar 10.260.229 m³ atau 42,37%. Kondisi tingkat kehilangan air atau Non Revenue Water (NRW) pada tahun 2023 masih jauh diatas dari Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 20/PRT/M/2006 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum sebesar 20%, bahkan masih lebih tinggi dari Target Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) IV sebesar 25%.

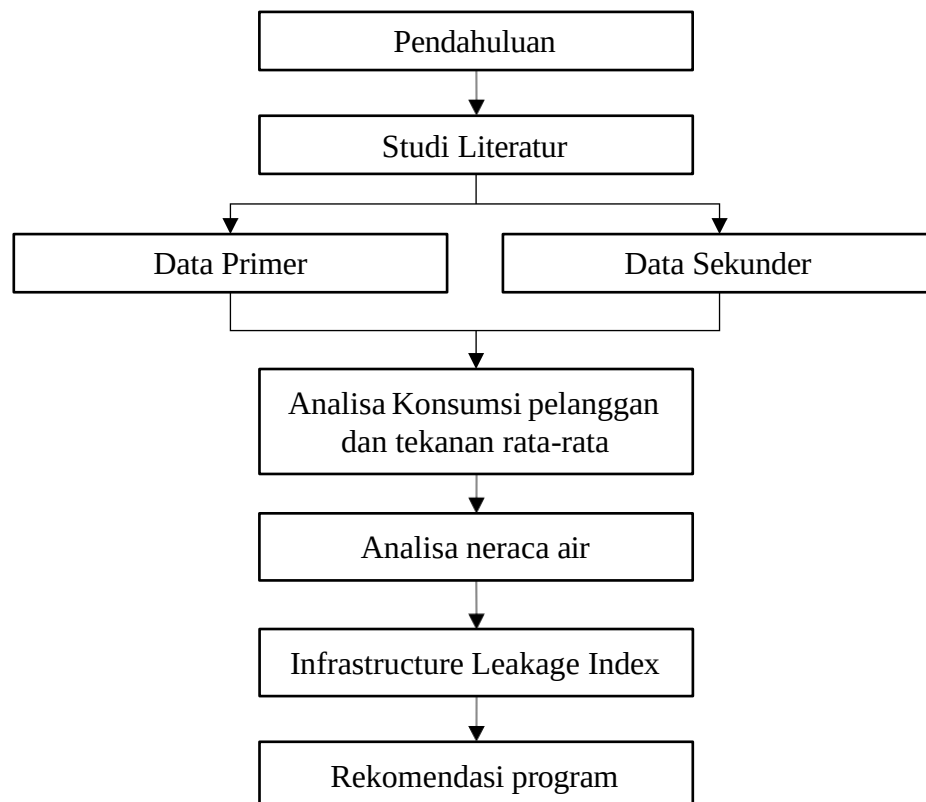
Tingkat NRW yang mencapai 42,37% menjadi permasalahan serius untuk diselidiki lebih lanjut agar diketahui isu permasalahan utama yang terjadi dan didapatkan usulan rekomendasi perbaikan yang sesuai untuk menurunkan tingkat NRW sebagai saran dan masukan kepada pihak Perumda Air Minum Kota Surakarta dalam menanggulangi kerugian akibat permasalahan NRW. Tingginya tingkat NRW serta permasalahan yang terjadi mengharuskan Perumda Air Minum Kota Surakarta membuat program penurunan NRW dimana kunci keberhasilan pengendalian kehilangan air antara lain komitmen jangka panjang Pemerintah Daerah, manajemen dan staf Perumda Air Minum dan seluruh stakeholders, terbentuknya tim penurunan kehilangan air di struktur organisasi, menerapkan *District Meter Area* (DMA), memiliki *as built drawing*, mempunyai peralatan untuk membuat DMA dan deteksi kebocoran

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kehilangan air yang terjadi dalam sistem distribusi serta mengetahui kinerja pengendalian kehilangan air fisik yang ada pada Perumda Air Minum Kota Surakarta. Setelah dilakukan analisis terhadap kondisi eksisting, hasil analisis diharapkan dapat digunakan oleh Perumda Air Minum Kota Surakarta sebagai acuan

pentingnya untuk melakukan langkah-langkah pengendalian NRW, terutama penurunan kebocoran/kehilangan air fisik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini melibatkan pengumpulan data primer melalui kunjungan lapangan dan pengukuran langsung. Data sekunder diperoleh dari Perumda Air Minum Kota Surakarta. Analisis dilakukan dengan menyusun neraca air untuk mengetahui kondisi saat ini dari setiap komponen, termasuk kehilangan air fisik. Setelah volume kehilangan air fisik diketahui, dilakukan analisis untuk menentukan volume minimum kehilangan air fisik tahunan menggunakan data jaringan, jumlah sambungan, dan tekanan rata-rata. *Infrastructure Leakage Index* (ILI) dihitung dengan membandingkan volume tahunan kehilangan air fisik dengan volume minimum tahunan kehilangan air fisik.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Pengumpulan Data Primer

Data primer merupakan data yang didapatkan melalui pengamatan dan pengukuran langsung, seperti debit air, tekanan, dan volume pemakaian air. Selain itu, data juga diperoleh melalui wawancara dan diskusi dengan manajemen Perumda Air Minum Kota Surakarta.

2.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari Perumda Air Minum Kota Surakarta, yaitu:

- Gambaran umum wilayah penelitian
- Peta jaringan distribusi wilayah Kota Surakarta
- Jumlah Input air

- d. Jumlah air terjual
- e. Jumlah dan komposisi pelanggan
- f. Tarif harga air rata-rata

2.3 Analisis dan Pengolahan Data

Langkah awal yang dilakukan adalah menganalisis kondisi kehilangan air berdasarkan data primer dan sekunder yang telah dikumpulkan. Data suplai air yang masuk dan data pemakaian resmi pelanggan dapat menunjukkan tingkat kehilangan air, namun diperlukan analisis yang lebih mendalam menggunakan neraca air. Analisis dilakukan pada setiap komponen penyusun neraca air. Kehilangan air fisik dapat dihitung setelah kehilangan air non fisik ditentukan. Penentuan kehilangan air non fisik dilakukan melalui uji tingkat akurasi meter air dengan pengambilan sampel langsung di lapangan sehingga diperoleh neraca air dengan kondisi eksisting. Selanjutnya, analisis kinerja menggunakan metode ILI dengan persamaan (1) dan (2). Penggolongan kinerja air tak berekening menggunakan perhitungan indikator liter per sambungan per hari saat jaringan bertekanan dan disesuaikan dengan kondisi apabila suplai air intermitten. ILI dilakukan untuk menentukan langkah yang perlu diambil oleh Perumda dalam mengatasi kehilangan air fisik.

$$ILI = \frac{CAPL}{MAAPL} \quad (1)$$

$$MAAPL (l/hari) = (18 \times LM + 0,8 \times NC + 25 \times LP) \times P \quad (2)$$

Keterangan :

- CAPL : Current (real) Annual Physical Losses,
- MAAPL : Minimum Achievable Annual Physical Losses,
- LM : length of mains, panjang total pipa induk (primer s/d tersier, tidak termasuk pipa dinas – dalam km)
- NC : number of service connections, jumlah sambungan
- LP : length of service connections, jumlah panjang pipa dinas dari batas persil pelanggan sampai meter pelanggan
- P : average pressure (meter), tekanan rata-rata

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1. Neraca Air

Neraca air (*water balance*) adalah metode yang digunakan untuk menghitung dan menganalisis jumlah air berdasarkan kategori kebutuhan dan distribusinya masing-masing. Penyusunan neraca air merupakan langkah awal yang umum digunakan dalam pengendalian NRW (*Non-Revenue Water*). Proses ini membantu memahami besaran dan sumber kehilangan air. Asosiasi Air Internasional dan Bank Dunia telah mengembangkan struktur dan terminologi standar untuk neraca air internasional yang telah diadopsi oleh asosiasi-asosiasi nasional di banyak negara. Untuk mengisi neraca air, diperlukan data-data dasar yang akan dimasukkan dalam perhitungan neraca air. Data-data tersebut harus mencakup periode satu tahun, sesuai dengan tahun perhitungan NRW yang akan dibuat. Data yang diperlukan meliputi:

- a. Data distribusi air bersih
- b. Data rekap jumlah kubikasi air bersih
- c. Data rekap jumlah Sambungan Rumah (SR)

d. Data Rekening Ditagih (DRD)

3.1.1. Volume Input Air Terdistribusi

Volume air yang didistribusikan adalah jumlah air yang dialirkan melalui jaringan distribusi. Jumlah ini diukur menggunakan flow meter. Perumda Air Minum Kota Surakarta telah menggunakan flow meter mekanis. Berdasarkan hasil pembacaan flow meter, data volume air yang didistribusikan selama tahun 2023 adalah sebesar 13.687.065 m³. Data volume air yang didistribusikan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Volume Distribusi Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

No	Sumber Air	Volume (m ³)
1	SD Manahan	444.686
2	SD Banjarsari	585.268
3	SD Banyuanyar	67.806
4	SD Tirtonadi	291.392
5	SD Jebres 2	860.620
6	IPA Jebres	1.396.982
7	SD Jurug 1	442.690
8	SD Mojosongo 1	255.720
9	SD Mojosongo 2	99.120
10	SD Mojosongo 3	227.295
11	IPA Jurug	2.456.853
12	SD Kadipiro 1	364.894
13	SD Kadipiro 2	843.570
14	SD Kadipiro 3	313.012
15	SD Randusari 2	344.813
16	SD Randusari 3	292.630
17	SD Ngadisono	870.440
18	SD Pedaringan	271.140
19	SD Sibela	68.200
20	SD Plesungan 1	82.452
21	SD Plesungan 2	809.891
22	Mata air Cokrotulung	9.439.735
23	SD Karangasem	457.928
24	IPA Semanggi	2.983.289
Total		24.270.430

(Sumber: Perumda Air Minum Kota Surakarta, 2023)

3.1.2. Konsumsi Berekening

Konsumsi berekening adalah volume air yang digunakan oleh pelanggan, baik yang diukur dengan meter air maupun secara curah, yang dapat ditagihkan dan menjadi pendapatan perusahaan. Volume konsumsi air bermeter berekening adalah 13.686.801 m³, sementara volume konsumsi air tak bermeter berekening adalah 264 m³. Data Rekening Ditagih (DRD) tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Konsumsi Berekening Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

No	Bulan	Konsumsi Bermeter Berekening (m ³)	Konsumsi Tak Bermeter Berekening (m ³)
1	Jan	1.130.197	0
2	Feb	1.156.235	12
3	Mar	1.062.153	24
4	Apr	1.150.918	20
5	Mei	1.137.166	16
6	Jun	1.154.699	76
7	Jul	1.133.678	4
8	Agu	1.123.673	56
9	Sep	1.154.563	36
10	Okt	1.141.685	20
11	Nov	1.182.663	0
12	Des	1.159.171	0
Total		13.686.801	264

(Sumber: Perumda Air Minum Kota Surakarta, 2023)

3.1.3. Konsumsi Tak Berekening

Konsumsi resmi tak berekening adalah volume air yang digunakan oleh pelanggan atau untuk kegiatan resmi lainnya yang tidak dapat ditagihkan sebagai pendapatan, baik yang bermeter maupun tidak bermeter. Konsumsi ini mencakup kegiatan resmi seperti tangki air gratis, pemadam kebakaran, pemasangan baru, flushing/cuci pipa, dan lain-lain. Pada tahun 2023 total volume konsumsi resmi tak berekening adalah 17.159 m³. Data konsumsi tak berekening dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Tak Berekening Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

No	Bulan	Konsumsi Bermeter Tak Berekening (m ³)	Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening (m ³)
1	Jan	50	1630
2	Feb	0	1236
3	Mar	52	2235
4	Apr	0	1068
5	Mei	36	2430
6	Jun	0	1683
7	Jul	78	2339
8	Agu	82	1113
9	Sep	154	1502
10	Okt	345	1125
11	Nov	0	0
12	Des	0	0
Total		797	16362

(Sumber: Perumda Air Minum Kota Surakarta, 2023)

3.1.4. Konsumsi Tak Resmi

Konsumsi tak resmi adalah semua jenis kerugian akibat pencurian air, seperti sambungan ilegal dan tapping pada pipa PDAM. Konsumsi tak resmi biasanya dilakukan oleh orang-orang yang bukan pelanggan PDAM atau mantan pelanggan PDAM. Pada tahun 2023 total konsumsi tak resmi sebesar 52.539 m³ seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Konsumsi Tak Resmi Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

No	Deskripsi	Konsumsi (m ³)
1	Pencurian air	52.539

(Sumber: Perumda Air Minum Kota Surakarta, 2023)

3.1.5. Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data

Ketidakakuratan meter dan kesalahan dalam penanganan data adalah salah satu komponen kehilangan non fisik. Volume air yang hilang akibat ketidakakuratan pembacaan meter dan kesalahan penanganan data adalah sebesar 844.058 m³ dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

No	Deskripsi	Total (m ³)
1	Ketidakakuratan Meter	570.316
2	Kesalahan Penanganan Data	273.742
Total		844.058

(Sumber: Perumda Air Minum Kota Surakarta, 2023)

3.1.6. Neraca Air

Neraca air tahunan diperoleh setelah penginputan data sesuai dengan kriteria yang telah disebutkan. Pada tahun 2023 tercatat volume input sistem sebesar 24.270.430 m³. Volume air yang dapat ditagih sebagai pendapatan perusahaan atau berekening adalah 13.687.065 m³, sementara volume air tak berekening mencapai 10.583.356 m³. Neraca air Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Neraca air Perumda Air Minum Kota Surakarta Tahun 2023

Volume Input Sistem 24.270.430 m ³	Konsumsi Resmi 13.704.224 m ³	Konsumsi Resmi Berekening 13.687.065 m ³	Konsumsi Bermeter Berekening 13.686.801 m ³	Air Berekening 13.687.065 m ³
			Konsumsi Tak Bermeter Berekening 264 m ³	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening 17.159 m ³	Konsumsi Bermeter Tak Berekening 797 m ³	Air Tak Berekening 10.583.356 m ³
			Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening 16.362 m ³	
	Kehilangan Air 10.566.206 m ³	Kehilangan Air Non-Fisik 896.597 m ³	Konsumsi Tak Resmi 52.539 m ³	
			Ketidak Akuratan Meter dan Penanganan Data 844.058 m ³	
Kehilangan Air Fisik 9.669.609 m ³				

Neraca air menunjukkan kehilangan air tahunan sebesar 10.583.356 m³. Kehilangan air yang lebih besar adalah kehilangan air fisik sebanyak 9.669.609 m³ dan kehilangan air non fisik sebanyak 896.597 m³.

3.2. ILI (*Infrastructure Leakage Index*)

Infrastructure Leakage Index adalah indikator untuk mengukur kehilangan fisik air dan menunjukkan seberapa baik jaringan distribusi dikelola. ILI memungkinkan penilaian terhadap efektivitas pengelolaan jaringan distribusi dalam mengendalikan kehilangan air. ILI adalah rasio antara CAPL volume tahunan kehilangan fisik saat ini dan MAAPL kehilangan fisik tahunan minimum yang dapat dicapai (Farley et al., 2008).

MAAPL adalah tingkat minimum kehilangan air fisik yang dapat dicapai dalam satu tahun. Nilai MAAPL dihitung dengan menganalisis beberapa komponen yang menjadi faktor inputnya, yaitu total panjang pipa utama (LM), jumlah pelanggan (NC), total panjang pipa dinas dari batas persil pelanggan hingga meteran pelanggan (LP), dan tingkat tekanan air (P), menggunakan persamaan (2).

Total panjang pipa utama diperoleh dari data jaringan perpipaan dengan total panjang jaringan perpipaan adalah 943 km. Pada Tahun 2023 Perumda melayani 58.465 SR. Panjang total pipa dinas dari batas persil pelanggan sampai meteran pelanggan dihitung mulai dari batas tanah pelanggan hingga meter air, dengan rata-rata panjang 6 meter per pelanggan di lokasi penelitian yaitu 358 km. Pengukuran rata-rata tekanan selama satu tahun mencapai 7,13 meter. Langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan semua komponen ini ke dalam persamaan (2)

$$\begin{aligned} MAAPL &= (18 \times LM + 0,8 \times NC + 25 \times LP \times P) \\ &= (18 \times 943 + 0,8 \times 58.465 + 25 \times 358) \times 7,13 \\ &= 518322.48 \text{ l/hari} \end{aligned}$$

CAPL adalah volume kehilangan fisik yang terjadi dalam satu tahun. Nilai CAPL atau kehilangan air fisik tahunan telah diketahui melalui neraca air pada Tabel 6 yaitu sebesar 9.669.609 m³/tahun.

$$\begin{aligned} CAPL &= \text{Kehilangan Air Fisik} \\ CAPL &= 9.669.609 \text{ m}^3/\text{tahun} \end{aligned}$$

ILI adalah rasio antara CAPL dan MAAPL.

$$\begin{aligned} ILI &= \frac{CAPL}{MAAPL} \\ ILI &= \frac{9.669.609}{189.187,705} \\ ILI &= 51,11 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan, nilai ILI yang diperoleh adalah 51,11, dengan tekanan rata-rata sebesar 7,13 yang mendekati nilai rata-rata tekanan pada tabel matriks target kehilangan fisik, yaitu 10 m. Nilai ILI ini kemudian dimasukkan ke dalam matriks perhitungan kehilangan air fisik yang terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7 Matriks Perhitungan Kehilangan Air Fisik

Kategori Kinerja Teknis		ILI	Liter/sambungan/hari				
			(saat jaringan bertekanan) pada tekanan rata-rata:				
			10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Situasi Negara Maju	A1	< 1.5		< 25	< 40	< 50	< 60
	A2	1.5 - 2		25-50	40-75	50-100	60-125
	B	2 - 4		50-100	75-150	100-200	125-250
	C	4 - 8		100-200	150-300	200-400	250-500
	D	> 8		> 200	> 300	> 400	> 500
Situasi Negara Sedang Berkembang	A1	< 2	< 25	< 50	< 75	< 100	< 125
	A2	2-4	25-50	50-100	75-150	100-200	125-250
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400	250-500
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800	500-1000
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800	> 1000

(Sumber: World Bank Institute, 2009)

Dimana:

Kategori A1 – Kinerja pengelolaan kebocoran kelas dunia, secara teoritis kemungkinannya hanya marjinal untuk penurunan lebih lanjut.

Kategori A2 – Upaya penurunan kehilangan air tidak ekonomis kecuali ada kekurangan pasokan, analisis yang cermat diperlukan untuk identifikasi perbaikan yang ekonomis.

Kategori B – Potensial untuk dilakukan perbaikan; coba pengaturan tekanan, penanganan kebocoran secara aktif, dan peningkatan pemeliharaan jaringan

Kategori C – Pencatatan kebocoran yang buruk, hanya dapat ditoleransi bila airnya berlimpah dan murah; meskipun begitu, harus tetap dianalisis tingkat dan penyebab kebocoran dan intensifkan upaya penurunan kebocoran

Kategori D – Pemborosan sumber daya secara yang luar biasa, program penurunan kebocoran harus diprioritaskan.

Dari tabel di atas, nilai ILI masuk dalam kategori D dengan kebocoran lebih dari 200 liter per sambungan per hari. Ini menunjukkan bahwa Perumda Air Minum Kota Surakarta mengalami pemborosan sumber daya yang signifikan, sehingga program penurunan kebocoran harus menjadi prioritas utama. Selama ini, program penurunan kebocoran yang dilakukan bersifat pasif, yakni hanya memperbaiki kebocoran berdasarkan laporan dari masyarakat. Program penurunan kebocoran secara aktif harus segera diimplementasikan agar kerugian akibat kebocoran dapat dikurangi.

Menurut BPPSPAM (2010), penurunan kebocoran secara aktif adalah upaya terpadu untuk menemukan sumber dan lokasi kebocoran melalui perencanaan yang sistematis dan terintegrasi, melibatkan seluruh sumber daya yang ada. Metode ini terbukti efektif dalam menekan angka kebocoran. Namun, perlu disadari bahwa upaya aktif dalam pengendalian kebocoran tidak akan langsung menurunkan tingkat kehilangan air fisik; integrasi seluruh tahapan dalam pengendalian ini membutuhkan waktu. Tahapan pengendalian kebocoran aktif meliputi:

a. Pengendalian Kebocoran Tampak

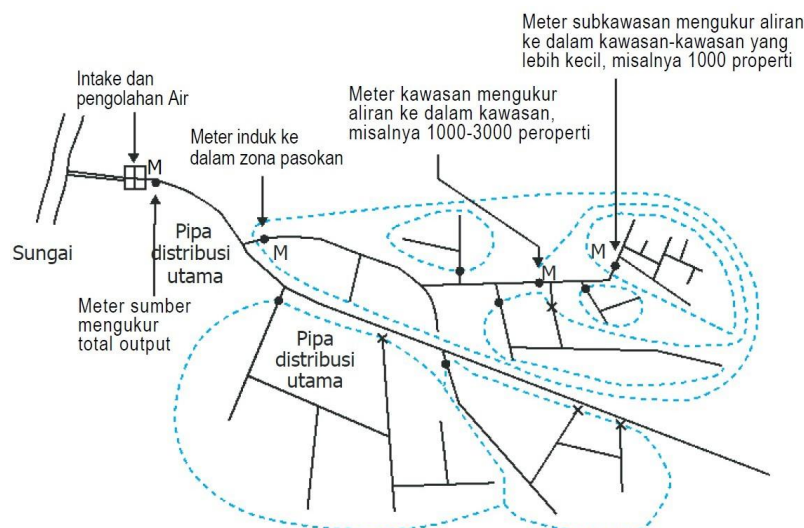
Mengidentifikasi dan memperbaiki kebocoran yang terlihat secara jelas melalui laporan warga, pembaca meter, dan inspeksi pipa. Upaya ini sederhana, murah, dan memerlukan prosedur, organisasi, dan komitmen yang berkelanjutan, serta kemampuan tanggap darurat dan perbaikan cepat.

b. Pengendalian Kebocoran Tak Tampak

Menemukan dan memperbaiki kebocoran yang tidak terlihat menggunakan peralatan pendengar dalam program rutin melalui step test.

c. Pengendalian Kebocoran Komprehensif

Menggunakan District Metered Area (DMA) untuk mendeteksi, mengukur, dan memperbaiki kebocoran secara sistematis. DMA melibatkan pemasangan meter induk di titik strategis dalam sistem distribusi untuk memantau aliran dan menentukan tingkat kehilangan air. Dengan memantau pola aliran selama 24 jam, terutama konsumsi minimum pada malam hari, kebocoran dapat diidentifikasi dan diperbaiki lebih cepat. Pengelolaan DMA memungkinkan penghitungan kehilangan air secara bulanan dengan akurasi tinggi. Skema DMA dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Skema DMA (Farley dkk, 2008)

Berdasarkan analisis komponen penyebab NRW, berikut rekomendasi program penurunan NRW:

a. Konsumsi Bermeter Tak Berekening:

Volume air ini digunakan untuk keperluan sosial seperti banjir dan kekurangan air, sehingga tidak dapat dikurangi karena merupakan kebutuhan penting yang relatif kecil nilainya.

b. Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening:

Tingkatkan kecepatan dan kualitas perbaikan kebocoran. Jumlah air yang hilang karena kebocoran pipa bergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk menyadari, menemukan, dan memperbaiki kebocoran tersebut.

c. Konsumsi Tak Resmi:

- Secara bertahap dan terjadwal, lakukan inspeksi terhadap pemakaian tidak wajar (0 m^3 , $<5 \text{ m}^3$, $<10 \text{ m}^3$) dan terapkan sanksi tegas bagi pelaku pencurian air untuk menimbulkan efek jera dan pembelajaran bagi konsumen lain.

- Lakukan survei dan pemutusan sambungan liar secara berkala.
- d. Pengendalian Kehilangan Air Fisik:
- Meningkatkan kecepatan penanganan kebocoran dalam penanganan kebocoran.
 - Manajemen aset dengan mencatat dan analisis umur pipa untuk memetakan potensi kebocoran fisik. Rehabilitasi pipa yang sudah tua atau rusak.
 - Pembentukan DMA untuk memantau dan mengendalikan kebocoran pada wilayah tertentu.
 - Menggunakan metode pencarian kebocoran secara aktif untuk menemukan kebocoran yang tidak terlihat.
 - Merapkan sistem SCADA secara bertahap untuk pemantauan dan kontrol yang lebih baik.
- e. Analisis SOP:
- Identifikasi dan analisis SOP terkait pengendalian NRW. Pastikan ada SOP untuk pelaksanaan tera meter, monitoring tekanan, penanganan anomali, pemakaian air tidak wajar, dan penanganan sambungan ilegal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data dan perhitungan neraca air, Perumda Air Minum Kota Surakarta mengalami kehilangan air sebesar 10.566.206 m³. Angka ini terdiri dari kehilangan air non fisik sebesar 896.597 m³ dan kehilangan air fisik sebesar 9.669.609 m³. Hasil perhitungan Indeks Kebocoran Infrastruktur (ILI) adalah 51,11 yang menunjukkan pemborosan sumber daya signifikan akibat kehilangan air fisik.

Berdasarkan analisis indikasi komponen penyebab NRW, rekomendasi program untuk mengurangi kehilangan air non fisik meliputi inspeksi pemakaian tidak wajar, survei dan pemutusan sambungan liar, sosialisasi, pendataan usia meter air pelanggan, pelaksanaan tera meter, serta pemasangan dan tata letak meter air. Sementara itu, rekomendasi program untuk mengurangi kehilangan air fisik meliputi peningkatan kecepatan penanganan kebocoran, pendataan umur pipa, pemetaan potensi kebocoran fisik, rehabilitasi pipa, perbaikan topologi jaringan, pembentukan DMA, pencarian kebocoran aktif, dan penerapan sistem SCADA secara bertahap.

Penelitian lebih lanjut diperlukan, terutama untuk menganalisis implementasi rekomendasi penanganan kehilangan air fisik dan non fisik. Setiap program perlu dikaji lebih mendalam terkait kelayakannya secara teknis, finansial, dan manfaatnya secara lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- AWWA, 2009. Loss Control Programs-Manual of Water Supply Practices, M36. American Water Works Association, Denver, USA.
- AWWA, 2016. M36 Water Audits and Loss Control Programs, fourth edition. American Water Works Association, USA
- Bagian distribusi (2023), “Laporan Tahunan Distribusi Tahun 2023, Perumda Air Minum Kota Surakarta
- BPPSPAM Kementerian PU. (2010). Pedoman Penurunan Air Tak Berekening (Non Revenue Water). Jakarta: Kementerian PU.
- Djamal, Z. Irzal, Firdaus Ali, Riant Nugroho, Agus Kretarto, Andi Zulfikar, (2009), Penurunan Kehilangan Air: Pengalaman Jakarta setelah Kerjasama Pemerintah-Swasta 1998-

- 2008, Jakarta: Badan Regulator PAM
- Direktorat Air Minum. (2023). Kinerja BUMD Air Minum 2022. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z., B. M., Istandar, A. & Ginh, S. (2008). Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer - Panduan untuk Memahami Kehilangan Air.
- Lambert, A., Taylor, R.. (2010), Water Loss Guidelines. Water New Zealand,
- Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi, A., & Fortini, M. (2014). Infrastructure leakage indeks assessment in large water systems. *Procedia Engineering*, 70, 1017-1026.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2006. Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.