

Analisis Kehilangan Air dengan Metode Neraca Air dan *Infrastructure Leakage Index* (ILI) pada Perumda Air Minum Kota Surakarta

Galih Iman Rakhmad, Adhi Yuniarto

Departemen Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia

*Koresponden email: adhy@its.ac.id, galih.dwiarto@pu.go.id

Diterima: 30 September 2024

Disetujui: 09 Oktober 2024

Abstract

Non-revenue water is the main problem faced by Perumda Air Minum Kota Surakarta, with a water loss rate reaching 42.37% in 2022. The purpose of this study is to identify and control the physical water loss using the water balance method and infrastructure leakage index. Primary data was obtained through field visits to make direct measurements, while secondary data was obtained based on data from the Solo City Drinking Water Company. A water balance analysis was carried out to determine the physical water loss, which was then used to calculate the ILI. The results showed that the water distribution volume was 24,270,430 cubic metres and the physical water loss was 9,669,609 cubic metres. The ILI value illustrates the effectiveness of distribution network management in controlling water losses. The conclusion of this study highlights the importance of water-free control measures and reduction of physical water leakage/loss to improve the efficiency and operational quality of drinking water services in Surakarta City.

Keywords: *water balance, ILI, NRW, surakarta*

Abstrak

Air tidak berekening merupakan permasalahan utama yang dihadapi Perumda Air Minum Kota Surakarta, dengan tingkat kehilangan air mencapai 42,37% pada tahun 2022. Maksud dari pengkajian ini untuk mengidentifikasi dan mengendalikan kehilangan air secara fisik dengan menggunakan metode neraca air serta Indeks Kebocoran Infrastruktur (*Infrastructure Leakage Index*). Data primer diperoleh melalui kunjungan lapangan untuk melakukan pengukuran langsung, sedangkan data sekunder diperoleh berdasarkan data-data 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, surakarta*

1. Pendahuluan

Permasalahan non-revenue water (NRW) atau Air Tak Berekening (ATR) menjadi perhatian penting dalam pengelolaan pelayanan air bersih, bukan hanya di Indonesia namun juga terjadi di seluruh dunia. 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 operasional (kuantitas, kualitas dan kontinuitas), peningkatan pendapatan operasional (efektifitas operasi, pengembalian modal 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 terjamin merupakan hasil dari praktik pengelolaan instansi yang baik dari manajemen PDAM (Djamal Irzal, et.al, 2009).

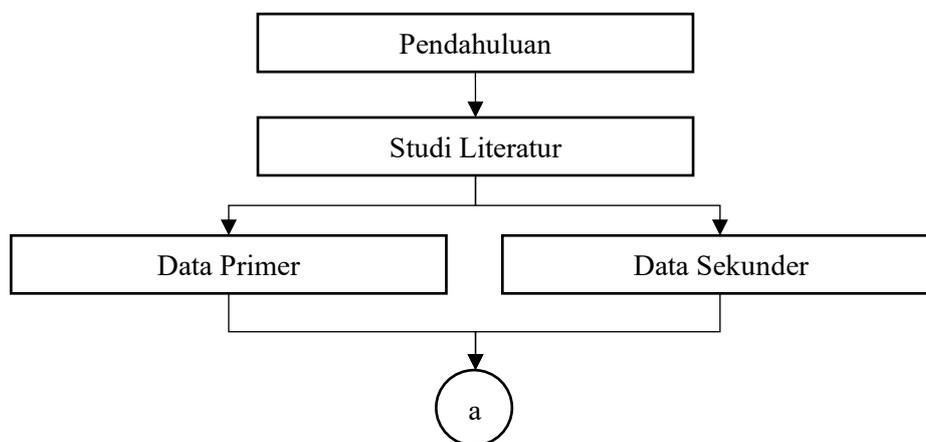
Non Revenue Water (NRW) merupakan salah satu permasalahan yang dialami oleh Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) di Indonesia. Perumda Air Minum Kota Surakarta mengalami tingkat NRW tinggi. PDAM sebagai penyelenggara Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), perlu dilakukan monitoring dan evaluasi dengan pengukuran indikator keberhasilan kinerja SPAM. Barometer keberhasilan pengelolaan SPAM oleh PDAM dapat dinilai dengan evaluasi kerjanya (Rofiq, 2018). Pada tahun 2022, jumlah air yang dialirkan kepada konsumen adalah 24.214.686 m³. Dari jumlah tersebut, air yang terjual kepada konsumen mencapai 13.954.457 m³. Hal ini menyebabkan NRW sebesar 10.260.229 m³ atau 42,37%. Kondisi nilai kehilangan air atau Non Revenue Water (NRW) pada tahun 2023 masih jauh di atas 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%.

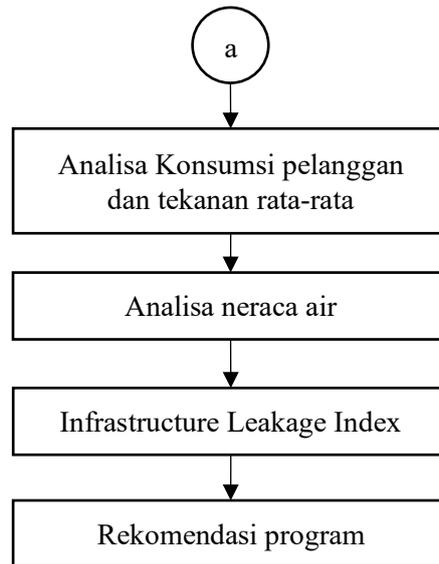
Tingkat NRW yang mencapai 42,37% menjadi permasalahan serius untuk diselidiki lebih lanjut agar diketahui isu permasalahan utama yang terjadi dan didapatkan usulan rekomendasi perbaikan yang sesuai untuk menurunkan tingkat NRW sebagai saran dan masukan kepada pihak Perumda Air Minum Kota Surakarta dalam 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 semua stakeholder terkait, pembentukan tim penurunan kehilangan air di struktur organisasi, menerapkan District Meter Area (DMA), memiliki as built drawing, mempunyai peralatan untuk membuat DMA dan deteksi kebocoran

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis kehilangan air pada sistem distribusi dan mengevaluasi efektivitas penurunan kehilangan air fisik di Perumda Air Minum Kota Surakarta. Setelah menganalisis kondisi eksisting, hasil analisis diharapkan dapat digunakan oleh Perumda Air Minum Kota Surakarta sebagai panduan untuk mengimplementasikan tahapan-tahapan pengendalian NRW, khususnya dalam mengurangi kebocoran/kehilangan air fisik.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan yaitu mengumpulkan data primer melalui tinjauan lapangan dan pengukuran secara langsung, sementara data sekunder diambil dari Perumda Air Minum Kota Surakarta. Analisis dilakukan dengan membuat neraca air untuk mengevaluasi keadaan terkini dari setiap bagian, termasuk kehilangan air fisik. Setelah volume kehilangan air fisik diidentifikasi, dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan jumlah minimal kehilangan air fisik tahunan menggunakan peta jaringan, jumlah sambungan, dan tekanan rata-rata. *Infrastructure Leakage Index* (ILI) dihitung dengan cara membandingkan volume kehilangan air fisik tahunan dengan volume minimal tahunan yang diharapkan.





Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Pengumpulan Data Primer

Data primer diperoleh dari observasi dan pengukuran langsung, seperti pengukuran debit air, tekanan, serta volume penggunaan air. Selain itu, data juga didapatkan melalui wawancara dan diskusi dengan pihak manajemen Perumda Air Minum Kota Surakarta.

2.2. Pengumpulan Data Sekunder

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

- a. Deskripsi umum lokasi penelitian
- b. Peta jaringan distribusi di Kota Surakarta
- c. Volume input air
- d. Volume air terjual
- e. Jumlah dan jenis pelanggan
- f. Rata-rata tarif air

2.3. Analisis dan Pengolahan Data

Langkah pertama yang dilakukan adalah menganalisis kondisi kehilangan air berdasarkan data primer dan sekunder yang telah dikumpulkan. Data suplai air yang masuk serta pemakaian resmi pelanggan dapat mengindikasikan tingkat kehilangan air, namun diperlukan analisis lebih lanjut melalui neraca air. Setiap komponen penyusun neraca air dianalisis secara terperinci. Kehilangan air fisik dihitung setelah kehilangan air non fisik ditentukan, yang diperoleh melalui pengujian tingkat akurasi meter air dengan pengambilan sampel langsung di lapangan untuk menghasilkan neraca air dalam kondisi saat ini. Selanjutnya, kinerja dianalisis menggunakan metode ILI berdasarkan persamaan (1) dan (2). Penggelompokan kinerja air tak berekening dihitung dengan indikator liter per sambungan per hari saat jaringan bertekanan, serta disesuaikan dengan kondisi jika pasokan air bersifat intermittent. Analisis ILI ini bertujuan untuk menentukan tindakan yang harus diambil oleh Perumda dalam menangani 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 yaitu panjang total pipa induk (primer s/d tersier, tidak termasuk pipa dinas – dalam km)

- NC : number of service connections yaitu jumlah sambungan
 LP : length of service connections yaitu jumlah panjang pipa dinas dari batas persil pelanggan sampai meter pelanggan
 P : average pressure (meter), tekanan rata-rata

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Neraca Air

Neraca air (*water balance*) adalah proses yang digunakan guna mengukur dan menganalisis volume air berdasarkan jenis keperluan dan distribusinya masing-masing. Penyusunan neraca air adalah tahapan awal yang umum digunakan pada penurunan NRW (Non-Revenue Water). Metode ini menunjang pemahaman volume dan jenis kehilangan air. Pengembangan struktur dan terminologi standar neraca air internasional telah dikembangkan oleh Asosiasi Air Internasional dan Bank Dunia dan telah digunakan oleh asosiasi nasional di beberapa negara. 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:

- Data distribusi air bersih
- Data rekap jumlah volume air
- Data rekap jumlah Sambungan Rumah (SR)
- Data Rekening Ditagih (DRD)

Volume Input Air Terdistribusi

Jumlah air yang didistribusikan merupakan volume air yang terdistribusi ke konsumen. Volume air diukur menggunakan flow meter. Perumda Air Minum Kota Surakarta telah menggunakan flow meter mekanis. Data volume air yang terdistribusi selama tahun 2023 adalah sebesar 13.687.065 m³. **Tabel 1** berisikan volume air yang terdistribusi.

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 Tirtanadi	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

Konsumsi Berekening

Konsumsi berekening adalah jumlah air yang dikonsumsi oleh konsumen. Pengukuran konsumsi menggunakan meter air dan secara curah akan dicatat dan menjadi sumber 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

Konsumsi Tak Berekening

Konsumsi resmi tak berekening merupakan jumlah air yang digunakan oleh konsumen atau untuk konsumsi resmi lain yang tidak dapat ditagihkan sebagai pendapatan, baik yang bermeter maupun tidak bermeter. Konsumsi ini mencakup konsumsi resmi seperti tangki air gratis, pemadam kebakaran, pemasangan baru, flushing/cuci pipa, dan lain-lain. Total volume konsumsi resmi tak berekening tahun 2023 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)

Konsumsi Tak Resmi

Konsumsi tak resmi adalah keseluruhan jenis kerugian yang diakibatkan oleh pencurian air. Konsumsi tak resmi umumnya dilakukan oleh masyarakat yang bukan konsumen PDAM atau mantan konsumen 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

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)

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
	Kehilangan Air 10.566.206 m ³		Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening 16.362 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			

Sumber: World Bank Institute, 2009

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 jumlah volume air tahunan kehilangan fisik saat ini dan MAAPL kehilangan fisik tahunan minimum (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 distribusi utama (LM), jumlah konsumen (NC), total panjang pipa dinas dari batas persil konsumen hingga meteran konsumen (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 **Error! Reference source not found.** yaitu sebesar 9.669.609 m³/tahun.

$CAPL = \text{Kehilangan Air Fisik}$

$CAPL = 9.669.609 \text{ m}^3/\text{tahun}$

ILI adalah rasio antara CAPL dan MAAPL.

$$ILI = \frac{CAPL}{MAAPL}$$

$$ILI = \frac{9.669.609}{189.187,705}$$

$$ILI = 51,11$$

Dari hasil perhitungan, nilai ILI yang diperoleh adalah 51,11, dengan rata-rata tekanan adalah 7,13 yang mengarah angka tekanan rata-rata berdasarkan matriks tabel kehilangan fisik, yaitu 10 m. Nilai ILI ini selanjutnya diinput ke matriks perhitungan kehilangan air fisik sesuai pada **Error! Reference source not found.**

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
	A2	2-4	25-50	50-100	75-150	100-200
	B	4 - 8	50-100	100-200	150-300	200-400
	C	8 - 16	100-200	200-400	300-600	400-800
	D	> 16	> 200	> 400	> 600	> 800

Sumber: World Bank Institute, 2009

Keterangan:

- Kategori A1 – Kinerja pengelolaan kebocoran kelas dunia, secara teoritis hanya ada sedikit ruang untuk penurunan lebih lanjut.
- Kategori A2 – Penurunan kehilangan air tidak ekonomis kecuali ada kekurangan pasokan, analisis yang teliti diperlukan untuk mengidentifikasi perbaikan yang masih ekonomis.
- Kategori B – Ada potensi perbaikan; pertimbangkan pengaturan tekanan, penanganan kebocoran aktif, serta peningkatan pemeliharaan jaringan.
- Kategori C – Pendataan kebocoran yang buruk, hanya dapat diterima jika air melimpah dan murah; meskipun demikian, analisis terhadap tingkat dan penyebab kebocoran tetap diperlukan serta upaya penurunan kebocoran harus ditingkatkan.
- Kategori D – Pemborosan sumber daya yang signifikan, program penurunan kebocoran harus menjadi prioritas utama.

Dari **Tabel 7** 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 inefisiensi aset yang signifikan, sehingga program kehilangan air harus menjadi prioritas utama. Selama ini, program penurunan kehilangan air yang dilaksanakan bersifat pasif, yakni hanya memperbaiki kebocoran berdasarkan aduan dari pelanggan dan masyarakat. Program penurunan kehilangan air secara aktif harus segera diimplementasikan agar kerugian akibat kehilangan air dapat diminimalisir.

Menurut BPPSPAM (2010), fungsi pengendalian kebocoran aktif merupakan langkah yang dilakukan untuk menemukan sumber dan lokasi kebocoran melalui perencanaan yang sistematis dan terintegrasi dengan memanfaatkan seluruh sumber daya yang dimiliki. 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:

Penurunan kebocoran secara aktif menjadi strategi untuk menemukan lokasi terjadinya kebocoran dengan perencanaan yang sistematis dan terintegrasi, serta memanfaatkan seluruh aset yang dimiliki Perumda Air Minum Kota Surakarta. Metode ini telah terbukti efektif dalam mengurangi tingkat kebocoran. Perlu diketahui bahwa strategi pengendalian kebocoran aktif dalam pengendalian kebocoran tidak akan langsung mengurangi nilai kehilangan air fisik. Integrasi seluruh langkah dalam penurunan kehilangan air memerlukan waktu. Tahapan pengendalian kebocoran aktif meliputi:

a. Pengendalian kebocoran yang terlihat

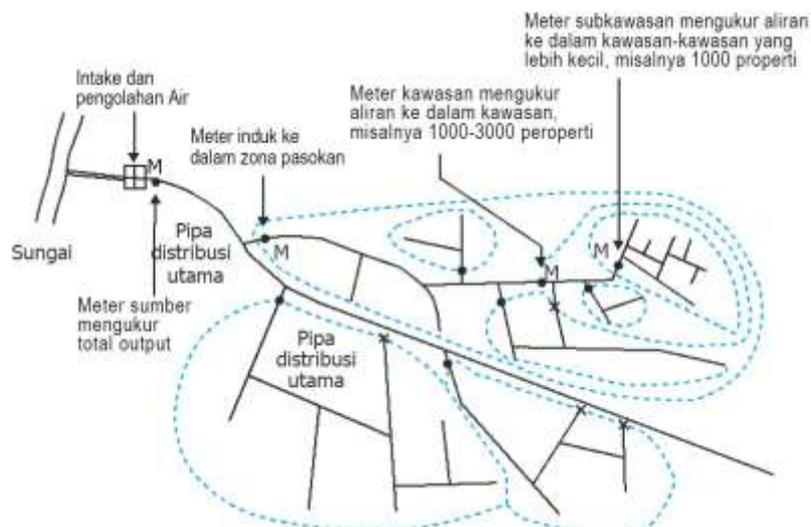
Mengidentifikasi dan memperbaiki kebocoran yang terlihat secara jelas melalui laporan konsumen, pembaca meter, dan inspeksi pipa. Upaya ini sederhana, murah, dan memerlukan prosedur, organisasi, dan komitmen pegawai, serta kemampuan tanggap darurat dan perbaikan cepat.

b. Pengendalian kebocoran yang tidak terlihat

Mengetahui lokasi dan melakukan perbaikan kebocoran yang tak nampak dengan menggunakan peralatan pendengar dalam kegiatan rutin melalui step test.

c. Pengendalian Kebocoran Komprehensif

Penggunaan District Metered Area (DMA) berfungsi mendeteksi, mengukur, serta melakukan perbaikan kebocoran secara sistematis. DMA melibatkan pemasangan meter induk di lokasi 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 usulan program penurunan kehilangan:

a. Konsumsi Bermeter Tak Berekening:

Volume air ini penting untuk keperluan publik, seperti untuk mengatasi banjir dan kekurangan air. Oleh karena itu, volume air ini tidak bisa dikurangi karena memiliki nilai penting yang relatif kecil.

b. Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening:

Tingkatkan kecepatan dan kualitas saat perbaikan kebocoran yang terjadi. Volume air yang hilang akibat kebocoran pipa bergantung pada durasi yang diperlukan untuk menyadari terjadinya kebocoran, menemukan lokasi kebocoran, dan kualitas perbaikan kebocoran tersebut.

c. Konsumsi Tak Resmi:

- Melakukan pemeriksaan pada konsumsi air yang tidak wajar ($0 \text{ m}^3, <5 \text{ m}^3, <10 \text{ m}^3$) oleh konsumen secara bertahap dan terjadwal dan terapkan sanksi untuk pelaku pencurian air agar 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.
 - Menejemen 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 berdasarkan kehilangan air non fisik yaitu 896.597 m³ dan kehilangan air fisik yaitu 9.669.609 m³. Hasil perhitungan Indeks Kebocoran Infrastruktur (ILI) adalah 51,11 yang menunjukkan tidak efektifnya pengelolaan sumber daya yang 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 konsumen, pelaksanaan tera meter, serta pemasangan dan tata letak meter air. Sementara itu, usulan 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 implementasi sistem SCADA secara bertahap.

Pengkajian lebih lanjut diperlukan, terutama untuk menganalisis pelaksanaan usulan penurunan kehilangan air fisik dan non fisik. Setiap program perlu dikaji lebih mendalam terkait kelayakannya secara teknis, finansial, dan manfaatnya secara lebih luas.

5. Daftar Pustaka

- [1] Annisa, A. N. (2016). Studi Literatur Perencanaan dan Algoritma Pembentukan DMA (District Metered Area). *Jurnal Teknik ITS*, 5(2).
- [2] AWWA, 2009. *Loss Control Programs-Manual of Water Supply Practices*, M36. American Water Works Association, Denver, USA.
- [3] AWWA, 2016. *M36 Water Audits and Loss Control Programs*, fourth edition. American Water Works Association, USA
- [4] Bagian distribusi (2023), "Laporan Tahunan Distribusi Tahun 2023, Perumda Air Minum Kota Surakarta
- [5] BPPSPAM Kementerian PU. (2010). *Pedoman Penurunan Air Tak Berekening (Non Revenue Water)*. Jakarta: Kementerian PU.
- [6] Charalambous, B., Water Board of Lemesos, & International Water Association. (2002). *Leakage management: a practical approach: 20-22 November, 2002, Lemesos, Cyprus: conference proceedings*.
- [7] 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
- [8] Direktorat Air Minum. (2023). *Kinerja BUMD Air Minum 2022*. Jakarta: Kementerian PUPR.
- [9] Farley, M., Wyeth, G., Ghazali, Z., B. M., Istandar, A. & Gingh, S. (2008). *Buku Pegangan tentang Air Tak Berekening (NRW) untuk Manajer - Panduan untuk Memahami Kehilangan Air*.
- [10] Farouk, A. M., Rahman, R. A., & Romali, N. S. (2023). Non-revenue water reduction strategies: a systematic review. In *Smart and Sustainable Built Environment* (Vol. 12, Issue 1, pp. 181–199). Emerald Publishing. <https://doi.org/10.1108/SASBE-04-2021-0071>
- [11] Lambert, A., Taylor, R.. (2010), *Water Loss Guidelines*. Water New Zealand,

-
- [12] Hamilton, Stuart., & Charalambous, Bambos. (2020). Leak Detection: Technology and Implementation. IWA Publishing.
- [13] Liu, J., Wang, H., Zhang, Q., Wan, Y., Zhao, D., Wei, D., & Hou, Y. (2024). Multi-level dynamic zoning design to improve the restorative capability of resilience: An emergence response in water contamination flushing. AQUA — Water Infrastructure, Ecosystems and Society. <https://doi.org/10.2166/aqua.2024.212>
- [14] Lenzi, C., Bragalli, C., Bolognesi, A., & Fortini, M. (2014). Infrastructure leakage indeks assessment in large water systems. *Procedia Engineering*, 70, 1017-1026.
- [15] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 20/PRT/M/2006. Kebijakan dan Strategi Nasional Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum.