

Diterima : 30 Agustus 2024 | Selesai Direvisi : 11 Oktober 2024 | Disetujui : 25 Oktober 2024 | Dipublikasikan : Desember 2024  
DOI : <http://doi.org/10.24853/jk.16.1.11-23>  
Copyright © 2024 Jurnal Konstruksia  
This is an open access article under the CC BY-NC licence (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

## Studi Kehilangan Air Pada Sistem Distribusi PDAM Tirta Khatulistiwa Dengan Metode *Water Balance*

Surya Pratama<sup>1</sup>, Rizki Purnaini<sup>1</sup> dan Ulli Kadaria<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Bansir Laut, Kec. Pontianak Tenggara, Kota Pontianak, Kalimantan Barat, 78124

Email korespondensi: [suryaprtm23@gmail.com](mailto:suryaprtm23@gmail.com)

### ABSTRAK

Kehilangan air atau NRW (*Non Revenue Water*) merupakan permasalahan yang sering terjadi di Perumda (Perusahaan Umum Daerah) Air Minum termasuk di Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa khususnya pada unit pelayanan IPA Parit Mayor, hal ini menyebabkan kerugian bagi Perumda Air Minum maupun pelanggan karena air yang hilang tidak memiliki nilai guna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola perubahan kehilangan air pada jaringan distribusi yang terjadi dari tahun 2019 hingga 2023 dan mengidentifikasi penyebab kehilangan air pada tahun tersebut, serta rencana tindaklanjut untuk menurunkan angka kehilangan air. Penelitian ini menggunakan metode *water balance* dengan bantuan *software WB-EasyCalc* dalam menganalisis besarnya kehilangan air yang terjadi. Hasil penelitian kehilangan air tertinggi terjadi pada tahun 2020 sebesar 47,06% sedangkan kehilangan air terendah terjadi pada tahun 2023 sebesar 42,48%. Kehilangan air disebabkan oleh kehilangan air fisik yang diakibatkan oleh kebocoran pada pipa induk distribusi di dua titik wilayah pelayanan IPA Parit Mayor dengan diameter 500 mm serta kebocoran pada pipa jaringan lainnya dan kehilangan air non fisik yang disebabkan oleh terdapat meter air buram dan macet serta petugas mengalami kesulitan pencatatan meter yang disebabkan oleh meter air digembok dan terbenam sehingga tidak dapat melakukan pencatatan, hal ini yang menyebabkan tingginya angka kehilangan air di IPA Parit Mayor. Rencana tindaklanjut penurunan kehilangan air dapat dilakukan dengan melakukan audit pada jaringan distribusi paling tidak dua tahun sekali, mengganti aksesoris pipa yang sesuai peruntukannya, melakukan kalibrasi dan penggantian meter air serta melakukan verifikasi data pembacaan meter air pelanggan sehingga didapat hasil distribusi yang maksimal.

**Kata Kunci** : jaringan distribusi, kehilangan air, neraca air, Perumda Air Minum

### ABSTRACT

*Water loss or NRW (Non-Revenue Water) is a problem that often occurs in Regional Public Companies (Perumda) Drinking Water including in Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa, especially in the Parit Mayor IPA service unit, this causes losses for Perumda Air Minum and customers because the lost water has no use value. The purpose of this study is to determine the pattern of changes in water loss in the distribution network that occurred from 2019 to 2023 and identify the causes of water loss in that year, as well as a follow-up plan to reduce water loss. This research uses the water balance method with the help of WB-EasyCalc software in analyzing the amount of water loss that occurs. The results of the study showed that the highest water loss occurred in 2020 at 47.06% while the lowest water loss occurred in 2023 at 42.48%. Water loss is caused by physical water loss caused by leaks in the distribution main pipe at two points of the Parit Mayor IPA service area with a diameter of 500 mm and leaks in other network pipes and non-physical water loss caused by opaque and jammed water meters and officers having difficulty recording meters caused by padlocked and immersed water meters so that they cannot make records, this is what causes the high rate of water loss at Parit Mayor IPA. The follow-up plan to reduce water loss can be done by conducting audits*

*on the distribution network at least once every two years, replacing pipe accessories according to their designation, calibrating and replacing water meters and verifying customer water meter reading data so that maximum distribution results are obtained.*

**Keyword :** *distribution network, Perumda drinking water, water balance, water loss*

## 1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi adalah kegiatan mendistribusikan air bersih kepada pelanggan dengan volume dan tekanan tertentu. Salah satu masalah pada sistem distribusi yang sering dihadapi PDAM di Indonesia adalah kehilangan air. Tingkat kehilangan air yang tinggi berdampak signifikan terhadap kapasitas PDAM dalam menyediakan air bersih bagi pelanggan. Kapasitas PDAM dalam menyediakan air bersih berkurang seiring dengan meningkatnya kehilangan air, yang berarti PDAM akan mengalami kerugian dari tahun ke tahun.

Air ialah sumberdaya yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup baik untuk menopang kebutuhan hidupnya secara alami. Kegunaan air bersifat universal atau menyeluruh dari setiap aspek kehidupan maka dari itu masalah kehilangan air harus diselesaikan [11]. Masalah kehilangan air biasanya disebabkan oleh kehilangan air secara fisik (teknis) dan kehilangan air secara non fisik (komersial). Penyebab utama kehilangan air secara fisik adalah kebocoran pipa dan luapan waduk. Sementara itu, ada sejumlah penyebab kehilangan air secara nonfisik, seperti: air tak berekening (*Non Revenue Water*), kebocoran meteran pelanggan, dan kesalahan penanganan data. Kualitas, kuantitas, kontinuitas, dan keterjangkauan merupakan faktor yang perlu diperhatikan oleh PDAM agar pelayanan kepada masyarakat dapat berjalan lancar dan memenuhi standar pelayanan (K4) [5]. PDAM harus mengetahui cara yang tepat dalam menunjukkan kehilangan air.

Tiga wilayah layanan Air Minum Perumda Tirta Khatulistiwa adalah Pontianak BKST (Barat, Kota Selatan dan Tenggara),

Pontianak Timur, dan Pontianak Utara. Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa menyuplai air bersih ke Kota Pontianak. Wilayah pelayanan Pontianak Timur memiliki tingkat kehilangan air yang masih cukup tinggi pada sistem distribusi sehingga menjadi masalah yang cukup penting dalam pelayanan kebutuhan air bersih karena menurunnya kemampuan pada suplai air bersih.

Menentukan jumlah dan lokasi kehilangan air serta kerugian finansial yang diakibatkan oleh kehilangan air tersebut merupakan beberapa langkah yang harus diambil untuk menurunkan tingkat kehilangan air. Oleh karena itu, pengendalian kehilangan air menjadi penting, dan ini dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan penyeimbangan air. Tiga indikator utama sistem penyediaan air minum—masukan sistem, konsumsi, dan kehilangan air—diperiksa dan dikendalikan oleh alat keseimbangan air, yang menghitung kehilangan air. [7].

Untuk menyediakan air minum, sistem layanan air bersih yang baik perlu memenuhi standar saat ini. tingginya tingkat kehilangan air terutama dibidang pendistribusian air bersih kepada masyarakat merupakan salah satu masalah yang cukup penting sehingga perlu penilaian dan perencanaan dilakukan untuk menurunkan jumlah kehilangan air. Di wilayah layanan, terjadi kehilangan air dalam jumlah yang signifikan daerah Pontianak Timur IPA Parit Mayor menyebabkan kemampuan suplai air bersih Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa akan semakin menurun, sehingga Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa akan mengalami kerugian. Penelitian dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab kehilangan air serta memberikan tindakan guna

penurunan tingkat kehilangan air pada Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa sehingga dapat meningkatkan kinerja pelayanan Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa.

### **Sistem penyediaan air minum**

Kebutuhan air ialah banyaknya air yang diperuntukkan guna pemenuhan hajat hidup manusia, terdiri dari air bersih baik untuk keperluan domestik dan non domestik, serta dipakai juga pada irigasi dalam menggelontor kota, dan pemenuhan kebutuhan lainnya [12].

Prasarana dan sarana yang membentuk SPAM (Sistem Penyediaan Air Minum) merupakan komponen dari prasarana. SPAM diciptakan dengan tujuan untuk memberikan pelayanan air minum kepada masyarakat dalam rangka memenuhi hak setiap orang dalam memperoleh air minum [9].

### **Kehilangan air**

Kehilangan air berarti perbedaan antara jumlah air yang masuk ke sistem pasokan air dan jumlah air yang tercatat [4]. Kehilangan air, yang juga dikenal sebagai air tak berpendapatan (NRW), saat ini menjadi masalah yang signifikan dalam hal penyediaan layanan air minum bersih melalui pipa. Pengurangan kehilangan air kini dianggap sebagai tanda efektivitas penyedia layanan PDAM. Dimulai dengan peningkatan standar pelestarian lingkungan untuk meningkatkan penerimaan masyarakat, peningkatan pendapatan dunia usaha (efisiensi operasional, efektivitas investasi, dan keuntungan usaha), dan peningkatan kualitas pelayanan (kuantitas, mutu, kontinuitas, dan keterjangkauan) [3].

### **Penyebab kehilangan air**

Kehilangan air secara fisik dan non-fisik merupakan dua kategori utama yang membagi kehilangan air menjadi dua kategori utama [1]. Air tidak dapat disalurkan ke pelanggan jika terjadi

kebocoran fisik karena air tersebut entah bagaimana berhasil keluar dari jaringan pipa. Hal ini dikenal sebagai kehilangan air secara fisik. Kehilangan air yang tidak terlihat dan biasanya bersifat administratif disebut sebagai kehilangan non-fisik [3].

### **Manfaat pengendalian kehilangan air**

Karena penghematan finansial atau pendapatan yang lebih tinggi merupakan sumber utama keuntungan dari pengendalian NRW, penerapannya biasanya hanya bermanfaat jika keuntungan ekonomi lebih besar daripada biaya yang terkait dengan penerapan mekanisme pengendalian kebocoran. Oleh karena itu, jumlah keuntungan ekonomi dari penerapan metode pengendalian NRW akan berasal dari dua sumber yang berbeda; sumber-sumber ini mencakup biaya operasional tahunan yang lebih rendah dan penundaan pola modal yang diperlukan untuk meningkatkan kebutuhan layanan [10].

### **Neraca air**

Neraca air menggambarkan hubungan antara masukan dan aliran keluar disuatu lokasi selama jangka waktu tertentu. Neraca air merupakan metode yang digunakan dalam sistem penyediaan air minum untuk menghitung kehilangan air, yang kemudian digunakan untuk mengontrol kesehatan sistem [8].

IWA (Asosiasi Air Internasional) memperkenalkan alat penyeimbang air, yang menggunakan perhitungan kehilangan air, untuk melakukan audit air dalam sistem yang menyediakan air minum di Berlin pada tahun 2001. Audit air, menurut Standar Air Internasional (IWA), adalah peninjauan catatan keuangan atau kinerja untuk memastikan keakuratannya. Audit air memberikan perhatian yang cermat pada pergerakan air saat melewati sistem distribusi, jalur pasokan air konsumen, dan titik pemasukan atau pemrosesan.

Neraca air secara teori mengharuskan PDAM untuk menghitung atau memperkirakan secara tepat setiap bentuk distribusi dan konsumsi air dan memasukkannya ke dalam komponen-komponen yang relevan [2].

Tabel 1. Water Balance

	Konsumsi Resmi Berekening	Konsumsi Bermeter Berekening	Air Berekening
Konsumsi Resmi	Konsumsi Resmi Tak Berekening	Konsumsi Bermeter Berekening	
Volume Input Sistem	Kehilangan Air Non-Fisik	Konsumsi Tak Resmi	Air Tak Berekening (NRW)
	Kehilangan Air Fisik	Kebocoran pada Pipa Distribusi dan Transmisi	
		Kebocoran dan Luapan dari Tangki - Tangki	

Penyimpanan Perusahaan Air Minum

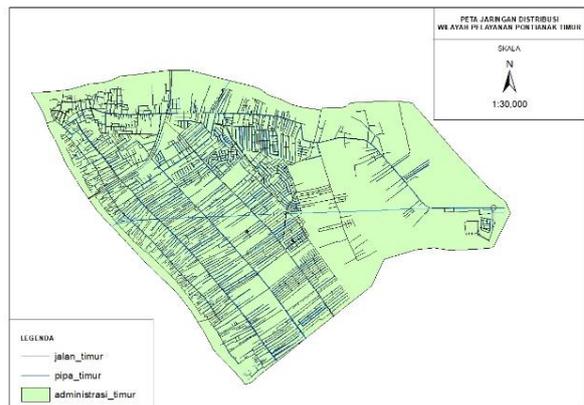
Kebocoran di Pipa Dinas hingga ke Meter Pelanggan

## 2. METODE

### Lokasi

IPA (Instalasi Pengolahan Air) Parit Mayor yang terletak di Kecamatan Pontianak Timur Kota Pontianak, Provinsi Kalimantan Barat, dijadikan sebagai lokasi penelitian. Desa Parit Walikota, Desa Tambelan Sampit, Desa Banjar Serasan, Desa Saigon, Desa Tanjung Hulu, Desa Tanjung Hilir, Desa Dalam Bugis, dan Desa Sei Ambawang semuanya termasuk dalam zona pelayanan K PDAM Tirta Khatulistiwa yang terletak disebelah Timur. Daerah Pontianak.

Gambar 1. Lokasi Penelitian



### Tahapan penelitian

Kajian pustaka dan data sekunder dari lembaga terkait menjadi sumber data utama dalam penelitian ini. Tahapan pengumpulan data yang dilakukan meliputi kajian pustaka atau studi dengan tujuan untuk mengumpulkan informasi bagi penelitian ini dalam bentuk landasan

teori atau rumus. Studi literatur diperoleh dari berbagai sumber seperti buku, internet, jurnal dan lainnya. Data sekunder yang digunakan antara lain yaitu.

Tabel 2. Data Penelitian

<i>Data</i>	<i>Sumber</i>
Konsumsi Air Bersih Tahun 2019 - 2023	Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Khatulistiwa
Debit Air Distribusi Tahun 2019 - 2023	Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Khatulistiwa
Kehilangan Air Tahun 2019 - 2023	Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Khatulistiwa
Peta Jalur Distribusi Air Bersih Tahun 2023	Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Khatulistiwa
Konsumen Berekening dan Tak Berekening Tahun 2023	Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Khatulistiwa

Tahap berikutnya melibatkan penggunaan pemrosesan dan analisis data untuk memecahkan masalah. Hasil pemrosesan dan analisis data kemudian diperiksa berdasarkan temuan dan penelitian yang ada. Berikut ini adalah pemrosesan dan analisis data yang digunakan:

- a. Perhitungan ini dilakukan untuk menentukan persentase kehilangan air yang terjadi. dalam kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir apakah melebihi batas maksimum NRW nasional yaitu sebesar 20%.
- b. Data yang dibutuhkan untuk melakukan penyusunan neraca air menggunakan perangkat lunak *WB-EasyCalc* meliputi volume masukan sistem, penggunaan resmi, kehilangan

air, kehilangan air fisik, dan kehilangan air non-fisik.

- c. Memproyeksikan data kehilangan air yang terjadi, hal ini dilakukan untuk melihat pola perubahan yang terjadi dalam kurun waktu lima tahun terakhir.
- d. Mengidentifikasi penyebab terjadinya kehilangan air dan rencana tindak lanjut guna penurunan tingkat kehilangan air pada jaringan distribusi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perhitungan air tak berekening (NRW)

Baik masyarakat secara keseluruhan maupun penyedia air minum setempat, Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak, mengalami kerugian besar akibat masalah kehilangan air ini. Tujuan perhitungan NRW adalah untuk mengetahui jumlah air yang hilang selama penyaluran air bersih, khususnya di IPA Perumda Tirta Khatulistiwa Parit Mayor. Selisih persentase antara jumlah air yang disediakan dan jumlah yang digunakan konsumen, atau volume air yang tercantum dalam tagihan, dapat digunakan untuk menghitung derajat kehilangan air, atau NRW.

Perhitungan NRW dapat memberikan informasi terhadap besarnya kehilangan air distribusi yang terjadi hal tersebut akan membantu dalam menentukan solusi atau tindakan yang dapat diambil untuk menurunkan tingkat kehilangan air ditahun berikutnya. Perhitungan NRW dilakukan dengan menggunakan *software WB-EasyCalc*, penggunaan *WB-EasyCalc* memerlukan beberapa data yang antara lain adalah.

#### 1. Volume input sistem

Volume input air adalah debit air yang diproduksi oleh IPA Parit Mayor Perumda Tirta Khatulistiwa dan tercatat pada meter induk sebelum didistribusikan. Volume input sistem IPA Parit Mayor tahun 2019-2023 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3. Volume Input Sistem

No.	Distribusi Air Bersih	Volume Air (m <sup>3</sup> )				
		2019	2020	2021	2022	2023
1	Januari	622,771	664,239	700,373	729,043	740,624
2	Februari	594,892	643,635	640,912	655,129	652,607
3	Maret	657,744	708,432	709,360	744,536	706,883
4	April	645,818	700,653	673,849	745,549	712,051
5	Mei	669,990	714,738	719,303	754,186	755,174
6	Juni	649,555	679,989	705,537	715,326	719,651
7	Juli	672,381	709,794	723,399	749,611	728,468
8	Agustus	669,463	678,914	719,142	762,512	734,892
9	September	651,133	673,285	695,734	751,308	738,763
10	Oktober	660,697	710,421	732,926	752,470	761,238
11	November	647,292	680,846	695,777	734,077	725,730
12	Desember	659,855	741,164	725,715	743,471	742,361
<b>Total</b>		<b>7,801,591</b>	<b>8,306,110</b>	<b>8,442,027</b>	<b>8,837,218</b>	<b>8,718,442</b>

Debit air tertinggi yang didistribusikan yaitu 8.442.027 m<sup>3</sup>/tahun pada tahun 2022, dan debit air terendah pada tahun 2019 sebesar 7.801.591 m<sup>3</sup>/tahun. Berdasarkan data, jumlah air yang didistribusikan diukur yang tercatat pada meter induk distribusi IPA Parit Mayor, tingkat akurasi (*margin error*) volume input sistem Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa berada diantara < 0,15 – 0,5%. Karena margin kesalahan dalam rentang ini tidak dapat ditentukan dengan tepat, ukuran margin kesalahan volume masukan sistem dihitung menggunakan nilai rata-rata, yaitu 0,5%.

2. Konsumsi resmi

Ada dua kategori klasifikasi konsumsi resmi: konsumsi resmi yang diakui dan konsumsi resmi yang tidak diakui. Konsumsi resmi berekening ialah air yang terjual ke masyarakat sehingga menjadi pendapatan. Volume konsumsi resmi berekening bermeter IPA Parit Mayor adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Volume Konsumsi Resmi Berekening

No.	Penjualan Air Bersih	Volume Air (m <sup>3</sup> )				
		2019	2020	2021	2022	2023
1	Januari	330,324	337,410	374,205	405,737	364,612
2	Februari	332,444	350,248	367,930	407,691	407,766
3	Maret	305,857	340,100	371,888	371,336	377,947
4	April	367,481	373,461	411,700	426,987	419,167
5	Mei	336,197	385,656	425,287	430,793	411,038
6	Juni	422,213	361,148	373,715	397,471	417,512
7	Juli	286,704	363,285	385,403	392,381	409,496
8	Agustus	370,118	374,018	395,513	393,017	427,460
9	September	356,121	371,515	393,633	383,232	428,475
10	Oktober	334,555	361,893	389,733	365,675	409,923
11	November	335,516	373,874	415,541	392,213	441,820
12	Desember	336,541	355,774	402,836	420,417	436,100
<b>Total</b>		<b>4,111,407</b>	<b>4,342,838</b>	<b>4,707,384</b>	<b>4,786,950</b>	<b>4,951,316</b>

Volume konsumsi resmi berekening bermeter tertinggi terjadi pada tahun 2023 yaitu sebesar 4.951.316 m<sup>3</sup>/tahun, dan volume konsumsi resmi berekening bermeter terendah sebesar 4.114.071 m<sup>3</sup>/tahun pada tahun 2019. Alasan margin kesalahan sebesar 2% pada angka-angka diatas

adalah karena meteran air pelanggan bersifat mekanis.

Jumlah air yang digunakan oleh klien atau aktivitas resmi lainnya—baik yang diukur atau tidak—yang tidak boleh digunakan untuk tujuan menghasilkan pendapatan dikenal sebagai konsumsi resmi non-pendapatan. Konsumsi resmi tak berekening yang biasanya digunakan untuk operasional kantor, pengolahan bahan kimia dan pemeliharaan pipa. Volume air konsumsi resmi tak berekening adalah sebagai berikut.

Tabel 5. Volume Konsumsi Resmi Tak Berekening

No.	Konsu msi Resmi Tak Bereke ning	Volume Air (m <sup>3</sup> /tahun)				
		201 9	202 0	202 1	202 2	202 3
1	Kuras Booster	240	240	240	240	240
2	Flushin g Distribu si	2,44 9	990	1,22 6	919	975
3	Pengur asan Swaday a	305	225	341	29	260
4	Interko neksi	226	2,42 6	265	28	184
5	Perbaik an Pipa	11,9 57	7,68 2	15,9 92	3,34 5	12,4 42
6	Pipa Dinas	222	231	238	250	263
7	Ganti Meter	91	73	80	108	12,4 59
8	Pemasa ngan Sambun gan Baru	867	914	953	1,00 5	1,05 2
9	Kantor dan Pengola han Bahan Kimia	36,0 00	36,0 00	36,0 00	36,0 00	36,0 00
	<b>Total</b>	<b>52,3 58</b>	<b>48,7 81</b>	<b>55,3 35</b>	<b>41,9 24</b>	<b>63,8 75</b>

### 3. Kehilangan air

Kesenjangan antara penggunaan yang disetujui dan masukan sistem dikenal sebagai kehilangan air. Seluruh volume jaringan, segmen jaringan tertentu seperti distribusi atau transmisi, atau zona terbatas semuanya dapat digunakan untuk menghitung kehilangan air. Kehilangan air meliputi kehilangan fisik dan non-fisik, atau komersial. Total kehilangan air yang terjadi adalah sebagai berikut.

Tabel 6. Volume Kehilangan Air

No.	Kehi l an Air Bersi h	Volume Air (m <sup>3</sup> /tahun)				
		201 9	202 0	202 1	202 2	202 3
1	Janua ri	292, 447	326, 829	326, 168	323, 306	376, 012
2	Febru ari	262, 448	293, 387	272, 982	247, 438	244, 841
3	Maret	351, 887	368, 332	337, 472	373, 200	328, 936
4	April	278, 337	327, 192	262, 149	318, 562	292, 884
5	Mei	333, 793	329, 082	294, 016	323, 393	344, 136
6	Juni	227, 342	318, 841	331, 822	317, 855	302, 139
7	Juli	385, 677	346, 509	337, 996	357, 230	318, 972
8	Agust us	299, 345	304, 896	323, 629	369, 495	307, 432
9	Septe mber	295, 012	301, 770	302, 101	368, 076	310, 288
10	Okto ber	326, 142	348, 528	343, 193	386, 795	351, 315
11	Nove mber	311, 776	306, 972	280, 236	341, 864	283, 910
12	Dese mber	323, 314	385, 390	322, 879	323, 054	306, 261
	<b>Total</b>	<b>3,68 7,52 0</b>	<b>3,95 7,72 8</b>	<b>3,73 4,64 3</b>	<b>4,05 0,26 8</b>	<b>3,76 7,12 6</b>

### Penyusunan neraca air *WB-EasyCalc*

Sasaran penyusunan neraca air adalah untuk merinci dan mengidentifikasi secara akurat unsur-unsur air tak berpendapatan (NRW). Menyelesaikan neraca air merupakan langkah yang berguna untuk memahami jumlah, asal, dan pengeluaran

air tak berpendapatan (NRW). Perhitungan neraca air menggunakan bantuan program *WB-EasyCalc* membutuhkan data-data berupa volume air yang didistribusikan, data teknis, dan sebagainya.

Langkah awal dalam membuat neraca air adalah menentukan volume input sistem. Volume input sistem berasal dari jumlah air yang didistribusikan oleh IPA Parit Mayor tercatat pada meter induk distribusi berturut-turut untuk tahun 2019 hingga 2023 yaitu 8.306.110m<sup>3</sup>/tahun, 7.801.591m<sup>3</sup>/tahun, 8.442.027m<sup>3</sup>/tahun, 8.718.442m<sup>3</sup>/tahun dan 8.837.218m<sup>3</sup>/tahun. Tahap kedua adalah memasukkan jumlah air terukur dan tidak terukur yang digunakan oleh pengguna resmi dan pihak ketiga. Komponen ini terdiri dari empat jenis konsumsi: tagihan terukur, tagihan terukur, meteran tidak terukur, dan meteran tertagih. Konsumsi bermeter berekening adalah seluruh air yang tercatat di rekening pelanggan, volume air yang terjual untuk tahun 2019 hingga 2023 secara berturut-turut adalah 4.114.071 m<sup>3</sup>/tahun, 4.348.382 m<sup>3</sup>/tahun, 4.707.384 m<sup>3</sup>/tahun, 4.786.950 m<sup>3</sup>/tahun dan 4.951.316 m<sup>3</sup>/tahun. IPA Parit Mayor tidak memiliki komponen konsumsi berekening tak bermeter hal ini karena pada IPA Parit Mayor tidak menjual tangki air, serta konsumsi bermeter tak berekening juga tidak terdapat pada IPA Parit Mayor. Konsumsi tak bermeter tak berekening digunakan untuk pemeliharaan pipa, pemasangan pipa baru, ganti meter pelanggan dan proyek jaringan pipa. Volume air tak bermeter tak berekening yang digunakan pada tahun 2019 hingga 2023 berturut-turut sebesar 52.358 m<sup>3</sup>/tahun, 48.781m<sup>3</sup>/tahun, 55.335 m<sup>3</sup>/tahun, 41.924 m<sup>3</sup>/tahun dan 63.875 m<sup>3</sup>/tahun.

Tahap selanjutnya adalah memperkirakan volume kehilangan air komersial. Komponen kehilangan air nonfisik atau komersial meliputi pengelolaan data dan meteran yang tidak akurat, serta

penggunaan yang tidak resmi. Karena belum cukupnya penyambungan pelanggan dan pemeriksaan meteran, PDAM Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak belum dapat memaksimalkan jumlah penyambungan yang tidak sah. Perangkat lunak *WB-EasyCalc* menghitung margin *error* keluaran secara otomatis dan memerlukan perhitungan batas keyakinan untuk diberikan pada data masukan.

Neraca air di wilayah layanan distribusi IPA Parit Mayor untuk tahun 2019–2023 dibuat dengan memasukkan hasil komponen pengaturan kehilangan air yang telah dijelaskan sebelumnya ke dalam perangkat lunak *WB-EasyCalc*. Dari sana, diperoleh keluaran neraca air dari hasil simulasi perangkat lunak *WB-EasyCalc*. Keluaran neraca air adalah jumlah waktu yang ditetapkan untuk analisis. Gambar 2 hingga 6 dibawah ini menunjukkan neraca air PDAM Tirta Khatulistiwa untuk layanan IPA Parit Mayor dari tahun 2019 hingga 2023.

Berdasarkan hasil diatas, menunjukkan persentase NRW PDAM Tirta Khatulistiwa dari tahun 2019 hingga 2023 berada jauh diatas angka toleransi maksimum NRW nasional yaitu sebesar 20%.

### **Pola perubahan kehilangan air**

Tren perubahan kehilangan air dari tahun 2019 hingga 2023 menunjukkan pola yang tidak konsisten, dengan beberapa tahun mengalami penurunan serta kenaikan yang tidak menentu. Besarnya kehilangan air yang terjadi pada jaringan distribusi dipengaruhi oleh 2 faktor utama, yaitu kehilangan air fisik dan kehilangan air komersial (non fisik), faktor-faktor tersebut merupakan penyebab kehilangan air sering terjadi sehingga sulit untuk mengidentifikasi pola perubahan kehilangan air yang konsisten selama periode tersebut. Tren perubahan yang terjadi dari tahun 2019 hingga 2023 dapat dilihat pada gambar berikut.

Dapat dilihat pada Gambar.7, tren kehilangan air yang terjadi untuk tahun 2019 hingga 2023 didapatkan persentase

volume kehilangan air tertinggi terjadi pada tahun 2020 dengan kehilangan air mencapai 47,06% dan persentase volume kehilangan air terendah pada tahun 2023

sebesar 42,48%, akan tetapi pada tahun 2022 kehilangan air yang terjadi mengalami kenaikan kembali sebesar 45,36%.

Volume Input Sistem 7.801.591 m <sup>3</sup> /tahun 100,00 % Margin Error (+/-) 0,5%	Konsumsi Resmi 4.166.206 m <sup>3</sup> /tahun 53,40 % Margin Error (+/-) 0,0%	Konsumsi Resmi Berekening 4.114.071 m <sup>3</sup> /tahun 52,73 %	Konsumsi Bermeter Berekening 4.114.071 m <sup>3</sup> /tahun 52,73 %	Air Berekening 4.114.071 m <sup>3</sup> /tahun 52,73 %	Kembali	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening 52.135 m <sup>3</sup> /tahun 0,67 % Margin Error (+/-) 14,6%	Konsumsi Tak Bermeter Berekening - m <sup>3</sup> /tahun - %	Konsumsi Bermeter Tak Berekening - m <sup>3</sup> /tahun - %		Air Tak Berekening 3.687.520 m <sup>3</sup> /tahun 47,27 % Margin Error (+/-) 1,1%
	Kehilangan Air 3.635.385 m <sup>3</sup> /tahun 46,60 % Margin Error (+/-) 1,1%	Kehilangan Air Non-Fisik 1.075.359 m <sup>3</sup> /tahun 13,78 % Margin Error (+/-) 17,0%	Konsumsi Tak Resmi 909.578 m <sup>3</sup> /tahun 11,66 % Margin Error (+/-) 19,7%	Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data 165.781 m <sup>3</sup> /tahun 2,12 % Margin Error (+/-) 21,2%		
		Kehilangan Air Fisik 2.560.026 m <sup>3</sup> /tahun 32,81 % Margin Error (+/-) 7,3%	Kehilangan Air Fisik 2.560.026 m <sup>3</sup> /tahun 32,81 % Margin Error (+/-) 7,3%			

Gambar 2. Neraca Air Tahun 2019

Volume Input Sistem 8.306.110 m <sup>3</sup> /tahun 100,00 % Margin Error (+/-) 0,5%	Konsumsi Resmi 4.396.932 m <sup>3</sup> /tahun 52,94 % Margin Error (+/-) 0,0%	Konsumsi Resmi Berekening 4.348.382 m <sup>3</sup> /tahun 52,35 %	Konsumsi Bermeter Berekening 4.348.382 m <sup>3</sup> /tahun 52,35 %	Air Berekening 4.348.382 m <sup>3</sup> /tahun 52,35 %	Kembali	
		Konsumsi Resmi Tak Berekening 48.550 m <sup>3</sup> /tahun 0,58 % Margin Error (+/-) 15,2%	Konsumsi Tak Bermeter Berekening - m <sup>3</sup> /tahun - %	Konsumsi Bermeter Tak Berekening - m <sup>3</sup> /tahun - %		Air Tak Berekening 3.957.728 m <sup>3</sup> /tahun 47,65 % Margin Error (+/-) 1,0%
	Kehilangan Air 3.903.178 m <sup>3</sup> /tahun 47,06 % Margin Error (+/-) 1,1%	Kehilangan Air Non-Fisik 1.121.001 m <sup>3</sup> /tahun 13,50 % Margin Error (+/-) 17,0%	Konsumsi Tak Resmi 945.779 m <sup>3</sup> /tahun 11,39 % Margin Error (+/-) 19,8%	Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data 175.222 m <sup>3</sup> /tahun 2,11 % Margin Error (+/-) 21,2%		
		Kehilangan Air Fisik 2.788.177 m <sup>3</sup> /tahun 33,57 % Margin Error (+/-) 7,0%	Kehilangan Air Fisik 2.788.177 m <sup>3</sup> /tahun 33,57 % Margin Error (+/-) 7,0%			

Gambar 3. Neraca Air Tahun 2020

<b>Volume Input Sistem</b> 8,442,027 m <sup>3</sup> tahun 100.00 % Margin Error (+/-) 0.5%	<b>Konsumsi Resmi</b> 4,762,481 m <sup>3</sup> tahun 56.41 % Margin Error (+/-) 0.0%	<b>Konsumsi Resmi Berekening</b> 4,707,384 m <sup>3</sup> tahun 55.76 %	<b>Konsumsi Bermeter Berekening</b> 4,707,384 m <sup>3</sup> tahun 55.76 %	<b>Air Berekening</b> 4,707,384 m <sup>3</sup> tahun 55.76 %	Kembali
	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 55,097 m <sup>3</sup> tahun 0.65 % Margin Error (+/-) 14.3%	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 55,097 m <sup>3</sup> tahun 0.65 % Margin Error (+/-) 14.3%	<b>Konsumsi Tak Bermeter Berekening</b> - m <sup>3</sup> tahun - %	<b>Air Tak Berekening</b> 3,734,643 m <sup>3</sup> tahun 44.24 % Margin Error (+/-) 1.1%	
			<b>Konsumsi Bermeter Tak Berekening</b> - m <sup>3</sup> tahun - %		
	<b>Kehilangan Air</b> 3,679,546 m <sup>3</sup> tahun 43.59 % Margin Error (+/-) 1.1%	<b>Kehilangan Air Non-Fisik</b> 1,165,323 m <sup>3</sup> tahun 13.80 % Margin Error (+/-) 17.0%	<b>Konsumsi Tak Resmi</b> 975,634 m <sup>3</sup> tahun 11.56 % Margin Error (+/-) 19.3%	<b>Air Tak Berekening</b> 3,734,643 m <sup>3</sup> tahun 44.24 % Margin Error (+/-) 1.1%	
			<b>Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data</b> 189,689 m <sup>3</sup> tahun 2.25 % Margin Error (+/-) 21.2%		
			<b>Kehilangan Air Fisik</b> 2,514,223 m <sup>3</sup> tahun 29.78 % Margin Error (+/-) 8.1%		

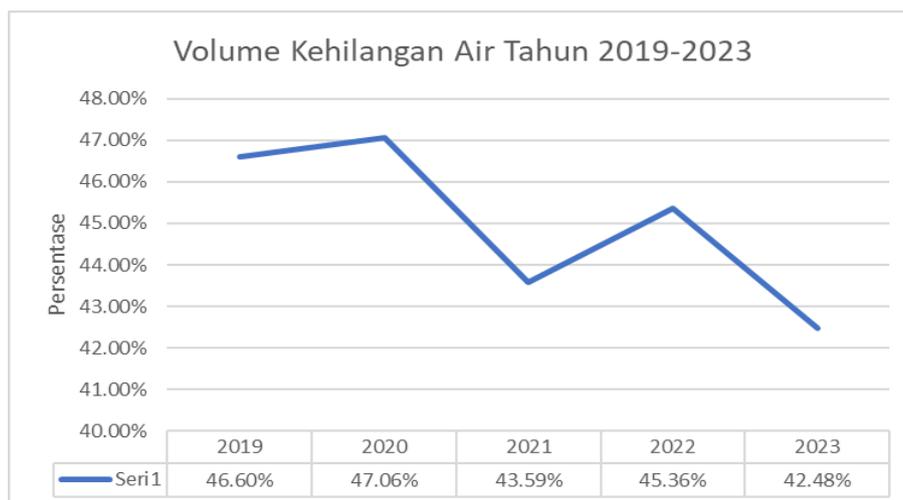
Gambar 4. Neraca Air Tahun 2021

<b>Volume Input Sistem</b> 8,837,218 m <sup>3</sup> tahun 100.00 % Margin Error (+/-) 0.5%	<b>Konsumsi Resmi</b> 4,828,624 m <sup>3</sup> tahun 54.64 % Margin Error (+/-) 0.0%	<b>Konsumsi Resmi Berekening</b> 4,786,950 m <sup>3</sup> tahun 54.17 %	<b>Konsumsi Bermeter Berekening</b> 4,786,950 m <sup>3</sup> tahun 54.17 %	<b>Air Berekening</b> 4,786,950 m <sup>3</sup> tahun 54.17 %	Kembali
	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 41,574 m <sup>3</sup> tahun 0.47 % Margin Error (+/-) 17.4%	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 41,574 m <sup>3</sup> tahun 0.47 % Margin Error (+/-) 17.4%	<b>Konsumsi Bermeter Tak Berekening</b> - m <sup>3</sup> tahun - %	<b>Air Tak Berekening</b> 4,050,268 m <sup>3</sup> tahun 45.83 % Margin Error (+/-) 1.1%	
			<b>Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening</b> 41,574 m <sup>3</sup> tahun 0.47 % Margin Error (+/-) 17.4%		
	<b>Kehilangan Air</b> 4,008,594 m <sup>3</sup> tahun 45.36 % Margin Error (+/-) 1.1%	<b>Kehilangan Air Non-Fisik</b> 1,208,266 m <sup>3</sup> tahun 13.67 % Margin Error (+/-) 17.1%	<b>Konsumsi Tak Resmi</b> 1,015,372 m <sup>3</sup> tahun 11.49 % Margin Error (+/-) 20.0%	<b>Air Tak Berekening</b> 4,050,268 m <sup>3</sup> tahun 45.83 % Margin Error (+/-) 1.1%	
			<b>Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data</b> 192,895 m <sup>3</sup> tahun 2.18 % Margin Error (+/-) 21.2%		
			<b>Kehilangan Air Fisik</b> 2,800,328 m <sup>3</sup> tahun 31.69 % Margin Error (+/-) 7.6%		

Gambar 5. Neraca Air Tahun 2022

<b>Volume Input Sistem</b> 8,788,442 m <sup>3</sup> tahun 100.00 % Margin Error (+/-) 0.5%	<b>Konsumsi Resmi</b> 5,014,328 m <sup>3</sup> tahun 57.52 % Margin Error (+/-) 0.0%	<b>Konsumsi Resmi Berekening</b> 4,951,316 m <sup>3</sup> tahun 56.79 %	<b>Konsumsi Bermeter Berekening</b> 4,951,316 m <sup>3</sup> tahun 56.79 %	<b>Air Berekening</b> 4,951,316 m <sup>3</sup> tahun 56.79 %	Kembali
	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 63,612 m <sup>3</sup> tahun 0.73 % Margin Error (+/-) 12.6%	<b>Konsumsi Resmi Tak Berekening</b> 63,612 m <sup>3</sup> tahun 0.73 % Margin Error (+/-) 12.6%	<b>Konsumsi Bermeter Tak Berekening</b> - m <sup>3</sup> tahun - %	<b>Air Tak Berekening</b> 3,767,126 m <sup>3</sup> tahun 43.21 % Margin Error (+/-) 1.2%	
			<b>Konsumsi Tak Bermeter Tak Berekening</b> 63,612 m <sup>3</sup> tahun 0.73 % Margin Error (+/-) 12.6%		
	<b>Kehilangan Air</b> 3,703,514 m <sup>3</sup> tahun 42.48 % Margin Error (+/-) 1.2%	<b>Kehilangan Air Non-Fisik</b> 1,251,368 m <sup>3</sup> tahun 14.35 % Margin Error (+/-) 17.2%	<b>Konsumsi Tak Resmi</b> 1,051,850 m <sup>3</sup> tahun 12.06 % Margin Error (+/-) 20.0%	<b>Air Tak Berekening</b> 3,767,126 m <sup>3</sup> tahun 43.21 % Margin Error (+/-) 1.2%	
			<b>Ketidakakuratan Meter dan Penanganan Data</b> 199,518 m <sup>3</sup> tahun 2.29 % Margin Error (+/-) 21.2%		
			<b>Kehilangan Air Fisik</b> 2,452,146 m <sup>3</sup> tahun 28.13 % Margin Error (+/-) 9.0%		

Gambar 6. Neraca Air Tahun 2023



Gambar 7. Grafik Pola Perubahan Kehilangan Air

### Identifikasi penyebab kehilangan air

Kehilangan air fisik dan kehilangan air komersial (nonfisik) adalah dua kategori yang membagi kehilangan air berdasarkan penyebabnya. Sumber kehilangan air dalam jaringan distribusi dari tahun 2019 hingga 2023 dapat diketahui dengan menghitung neraca air.

Kebocoran pada *fitting* dan sambungan pipa serta kebocoran pada sistem distribusi yang tampak atau tidak terlihat (kebocoran latar belakang), kebocoran pada tangki dan reservoir, luapan air dari reservoir, kebocoran pada pipa sambungan rumah ke meteran air pelanggan, dan sistem pembuangan terbuka atau *blow-off* yang tidak memadai merupakan penyebab utama kehilangan air fisik dalam sistem distribusi.

Kebocoran pipa juga dapat dipengaruhi oleh perubahan diameter pipa, diameter pipa mempengaruhi nilai *headloss* pada pipa. Hubungan antara kehilangan tekanan dan kecepatan berbanding terbalik dengan diameter pipa; diameter pipa yang lebih kecil berhubungan dengan kecepatan air yang lebih tinggi didalam pipa dan akibatnya kehilangan tekanan yang lebih tinggi. Kehilangan riil atau kehilangan teknis adalah sebutan lain untuk kehilangan ini. Kehilangan air fisik dari sistem bertekanan hingga ke titik meteran air pelanggan disebut sebagai kehilangan teknis. Frekuensi, debit, dan

panjang rata-rata kebocoran menentukan volume kehilangan tahunan berdasarkan semua jenis kebocoran, termasuk pipa pecah dan meluap [6].

Pengelolaan air merugi jika terjadi kehilangan air nonfisik. Jenis kehilangan ini dikenal sebagai kehilangan nyata atau kehilangan air komersial, dan biasanya disebabkan oleh meteran yang salah untuk penggunaan air masyarakat yang melanggar hukum atau tidak sah. Kehilangan air komersial didefinisikan sebagai agregat konsumsi yang tidak disetujui (pencurian atau penggunaan air ilegal) dan semua bentuk kesalahan, termasuk meteran air produksi dan pelanggan. Keakuratan meteran air bergantung pada kualitas meteran yang digunakan; meteran yang bagus dapat mencapai presisi yang diinginkan, sedangkan meteran yang kurang bagus akan membuat keakuratannya tidak pasti.

### ILI (*Infrastructure Leakage Index*)

NRW (*Non Revenue Water*) juga dihitung dalam studi ini menggunakan metode ILI (*Indeks Kebocoran Infrastruktur*). Dengan mempertimbangkan manajemen jaringan distribusi, skor ini memberikan indikasi yang wajar tentang kehilangan fisik. ILI adalah metrik yang mengukur seberapa baik jaringan distribusi dipelihara (dikelola) untuk membatasi kehilangan

fisik dalam kondisi operasional yang ada saat ini.

Nilai ILI berturut-turut untuk tahun 2019 hingga 2023 ialah 22, 17, 22, 24 dan 21. Untuk menentukan hasil penilaian kinerja wilayah layanan IPA Parit Mayor, hasil perhitungan ILI dibandingkan dengan matriks sasaran, yaitu tabel kerugian fisik/teknis yang dipadatkan. Kebocoran jaringan yang sangat serius dan mengakibatkan pemborosan sumber daya yang luar biasa ditunjukkan dengan nilai indikator kinerja wilayah layanan IPA Parit Mayor golongan D. Prioritas utama Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa di wilayah layanan IPA Parit Mayor adalah pengendalian program kebocoran.

#### **Rencana pengendalian kehilangan air**

Kehilangan air merupakan salah satu indikator. Salah satu standar kinerja PDAM adalah kehilangan air. Target kehilangan air nasional adalah 20%; untuk mencapai target tersebut, kehilangan air fisik dan komersial harus dikurangi. Target kehilangan air nasional adalah 20%; penurunan tingkat kehilangan air diperlukan untuk mencapai target secara komersial maupun kehilangan air fisik. Adapun strategi atau tindak lanjut untuk menurunkan angka kehilangan air sebagai berikut.

##### **a. Kehilangan Air Komersial**

- Melakukan kalibrasi meter air pelanggan guna mengetahui keakuratan meter pelanggan;
- Melakukan pemeriksaan dan konfirmasi data meteran air klien;
- Melakukan penggantian meter air yang sudah tak terbaca/rusak;
- Melakukan audit pada *billing system*;
- Menggunakan alat pengukuran yang benar serta melakukan pelatihan bagi petugas baca meter.

##### **b. Kehilangan Air Fisik**

- Mengoptimalkan kinerja area meter distrik dengan melakukan audit jaringan yang dikoordinasikan dengan akun

regional minimal 2 tahun sekali (DMA)

- Melakukan pemeliharaan jaringan pipa serta mempercepat waktu perbaikan kebocoran;
- Melakukan pengadaan terkait standarisasi dan simplikasi varian pipa dan aksesoris pipa yang sesuai dengan peruntukannya;
- Melakukan pengendalian tekanan sehingga dapat meminimalisir kehilangan air yang terjadi karena besarnya tekanan.

#### **4. KESIMPULAN**

Wilayah pelayanan IPA Parit Mayor Perumda Air Minum Tirta Khatulistiwa Kota Pontianak mengalami kehilangan air yang cukup tinggi, kehilangan air tertinggi terjadi pada tahun 2020 sebesar 47,06% sedangkan kehilangan air terendah terjadi pada tahun 2023 sebesar 42,48%. Tren atau pola perubahan kehilangan air yang terjadi pada 2019 hingga 2023 mengalami penurunan angka kehilangan air yang yang terbilang sudah cukup baik.

Kehilangan air yang terjadi disebabkan oleh dua faktor, yaitu kehilangan air fisik dan kehilangan air non fisik/komersial. Kehilangan air fisik yang terjadi pada pipa jaringan distribusi pada tahun 2020, berdasarkan data Perumda Tirta Khatulistiwa ditemukan kebocoran pada pipa induk yang terjadi di 2 (dua) titik wilayah pelayanan IPA Parit Mayor dengan jenis pipa PVC berdiameter 500 mm serta kebocoran pada pipa jaringan lainnya, dan telah terjadi kehilangan air non fisik yang disebabkan oleh ketidakakuratan pencatatan meter akibat meter air buram dan macet serta terdapat kesulitan pada petugas pencatat meter air yang diakibatkan oleh meter air digembok dan terbenam sehingga tidak dapat melakukan pencatatan, hal ini yang menyebabkan tingginya angka kehilangan air di IPA Parit Mayor.

Pengendalian kehilangan air yang dapat diterapkan untuk menurunkan angka kehilangan air pada tahun berikutnya

yaitu, meteran air yang macet atau rusak dapat diganti, dan kalibrasi meteran klien secara teratur dapat membantu mengendalikan kehilangan air non-fisik/komersial. serta melakukan audit terhadap petugas pembaca meter dan data-data hasil pencatatan meter air. Sedangkan pengendalian yang dapat dilakukan untuk kehilangan air fisik adalah melakukan audit pada jaringan distribusi serta melakukan standarisasi dan simplikasi varian dan aksesoris pipa sesuai peruntukannya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aminuddin. (2017). "Analisis Kehilangan Air PDAM Kabupaten Padang Pariaman Unit Batang Anai".
- [2] BPPSPAM. (2019). "Buku Kinerja BUMD Penyelenggara SPAM Tahun 2019".
- [3] Diasa, I. W., Soriarta, I. K., dan Suryawan, I. B. (2019). "Analisa Kehilangan Air (*Non Revenued Water*) Pada Jaringan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM)". Fakultas Teknik. Universitas Ngurah Rai. Denpasar. 11 (02).
- [4] Efendi Cahyo, D. F. (2018). "Evaluasi Kehilangan Air Pada Jaringan Pipa PDAM Unit Grogol Kabupaten Kediri".
- [5] Harlini, D., Fuad, I. S., Andayani, R., dan Wartini. (2016). "Perhitungan *Non Revenue Water* (NRW) dan Tingkat Kepuasan Pelanggan Pada PDAM Lematang Enim Unit Pelayanan Pendopo Kabupaten Pali". Jurnal Desiminasi Teknologi. 4 (1).
- [6] Irvandi, A., Jati, D. R., & Kadaria, U. (2021). "Analisis Kehilangan Air Pipa Transmisi PDAM Tirta Sebalu Kabupaten Bengkayang". Universitas Tanjungpura. Pontianak.
- [7] Jannah, I. R. (2020). "Studi Kehilangan Air Komersial (Studi Kasus: PDAM Maja Tirta Kota Mojokerto)".
- [8] Mawiti, Y. I., Gede, I. B., Pratama, P., Bagus, I., dan Purbawijaya, N. (2019). "Mitigasi *Non Revenue Water* (NRW) Sistem Jaringan Distribusi Pada *District Meter Area* (DMA) Zona Kota Blahbatuh PDAM Gianyar". Komunikasi Teknik Sipil. 25 (2).
- [9] PP Nomor 122. (2015). "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 Tentang Penyediaan Air Minum".
- [10] Sya'bani, M. R. (2016). "Penerapan Jaringan Distribusi Sistem *District Meter Area* (DMA) Dalam Optimalisasi Penurunan Kehilangan Air Fisik Ditinjau Dari Aspek Teknis dan Finansial (Studi Kasus: Wilayah Layanan IPA Bengkuring PDAM Tirta Kencana Kota Samarinda)". Tesis. Institut Teknologi Bandung.
- [11] Wigati, R. (2015). "Studi Analisis Kebutuhan Air Bersih Pedesaan Sistem Gravitasi Menggunakan Software Epanet 2.0". Jurnal Konstruksia. 6 (2).
- [12] Salim, N. (2021). "Kajian Teknis Jaringan Air Bersih Pada Desa Pinggiran (Studi Kasus : Desa Karang Melok, Kecamatan Tamanan, Kabupaten Bondowoso)". Jurnal Konstruksia. 12 (2).